

10/603 - 052

10.02.93



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der  
**europäischen Patentschrift**

⑧7 EP 0 514 919 M1

⑩ **DE 692 18 040 T 2**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 31/112**  
G 02 B 6/12  
G 02 B 6/42  
H 04 B 10/14

DE 692 18 040 T 2

②1 Deutsches Aktenzeichen: 692 18 040.0  
⑧6 Europäisches Aktenzeichen: 92 108 667.4  
⑧6 Europäischer Anmeldetag: 22. 5. 92  
⑧7 Erstveröffentlichung durch das EPA: 25. 11. 92  
⑧7 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 12. 3. 97  
④7 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 31. 7. 97

③0 Unionspriorität:

149677/91 24.05.91 JP  
140089/92 02.05.92 JP

⑦3 Patentinhaber:

Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:

Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL,  
SE

⑦2 Erfinder:

Hiroki, Tamayo, c/o Canon Kabushiki Kaisha, Tokyo,  
JP; Nojiri, Hidetoshi, c/o Canon Kabushiki Kaisha,  
Tokyo, JP

⑤4 Photodetektor fähig unerwünschte Ladungsträger zu räumen, und ihn enthaltendes optisches Kommunikationssystem

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 692 18 040 T 2

Deutschsprachige Übersetzung der Beschreibung des  
Europäischen Patents Nr. 0 514 919 der  
Europäischen Patentanmeldung Nr. 92108667.4-2203

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Photoerfassung  
und insbesondere auf einen Photodetektor von der Art eines Wel-  
lenleiters, einer Oberflächeneinfalls-Art oder dergleichen, der  
zur Verwendung bei einer optischen Integrationsschaltung geeig-  
10 net ist, und auf ein optisches Übertragungssystem einschließlich  
einem derartigen Photodetektor. Der Photodetektor ist eingerich-  
tet, um unerwünschte Ladungsträger oder Löcher zu beseitigen und  
kann zum Empfangen von Licht oder einem Signal bei einem opti-  
schen Übertragungssystem oder einem ähnlichen System verwendet  
15 werden.

Figur 1 zeigt einen Photodetektor von der Art eines Wellenlei-  
ters als einen Stand der Technik. In Figur 1 sind eine undotier-  
te GaAs-Pufferschicht 402, eine undotierte erste Mantelschicht  
20 403 aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , eine undotierte Wellenleiterschicht 404 aus  
 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  mit einer Dicke von mehreren  $\mu\text{m}$  und eine undotierte  
zweite Mantelschicht 405 aus  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  aufeinanderfolgend auf ei-  
nem halb-isolierenden GaAs-Substrat 400 geschichtet. Weiter ist  
eine aktive oder lichtabsorbierende Schicht 406 mit einer Dicke  
25 von 0,2  $\mu\text{m}$  bis 0,5  $\mu\text{m}$  aufgeschichtet und eine Sourceelektrode  
411, eine Gateelektrode 412 und eine Drainelektrode 413 sind  
darauf aufgebracht. Dieser Photodetektor wird in einem vorge-  
spannten Zustand betrieben und zu erfassendes Licht wird über  
den Wellenleiter 404 übertragen. Als Ergebnis fließt ein Photo-  
strom zwischen der Drainelektrode 413 und der Sourceelektrode  
30 411 und das Licht wird erfaßt.

Bei dem Photodetektor des Standes der Technik jedoch werden La-  
dungsträger (Elektronen und Löcher), die durch ein Licht, das in  
35 anderen Bereichen als der Absorptionsschicht 406 (d.h., die Wel-  
lenleiterschicht 404, die Pufferschicht 402, die Mantelschichten  
403 und 405, das Substrat 400 und dergleichen) absorbiert wird,

erzeugt werden, nicht beseitigt und können darin gespeichert und nach einer bestimmten Zeit ausgelöscht werden. Die Antwort-Charakteristik des Photodetektors wird durch die unerwünscht gespeicherten Ladungsträger, die innerhalb dieser Auslöschungszeit (eine Rekombinationszeit von Ladungsträgern) in einen Lichterfassungsabschnitt desselben fließen, nachteilig beeinflusst. Besonders Löcher stellen ein schwieriges Problem dar, weil ihre Beweglichkeit viel kleiner als die von Elektronen ist. Weiter wird durch die gespeicherten Ladungsträger ein elektrostatisches Potential verursacht und ein Potential auf der Seite des Substrats 400 schwankt. Als Ergebnis wird die Begrenzung von Ladungsträgern in der Absorptionsschicht 406 herabgesetzt und die Licht-Strom-Charakteristik des Photodetektors wird instabil. Somit kann sich die Erfassungsempfindlichkeit abschwächen.

Die Schrift US-A-4 360 246 offenbart einen Photodetektor und ein Lichterfassungsverfahren in Übereinstimmung mit dem Oberbegriff von Patentansprüchen 1 bzw. 29.

Aufgrund des integrierten Wellenleiters wird Licht während seiner Ausbreitung absorbiert, derart, daß Ladungsträger ebenfalls in anderen Bereichen als der aktiven Schicht des Photodetektors erzeugt werden. Diese Ladungsträger jedoch können gespeichert werden und besonders die Löcher mit einer niedrigen Beweglichkeit können zu einer Verschlechterung der Erfassungsempfindlichkeit führen.

Weiterhin beschreibt die Schrift JP-A-61-113 286 einen Photodetektor mit einer Lichterfassungseinrichtung, bei dem Ladungsträger in einer Absorptionsschicht 23 erzeugt werden. Da lediglich Elektronen zur Erfassung erforderlich sind, ist eine Elektroden-schicht zum Herausnehmen von in der Absorptionsschicht erzeugten positiven Ladungsträgern (Löchern) gebildet.

Dieser Photodetektor jedoch umfaßt keine Lichtleiteinrichtung.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Photodetektor in Übereinstimmung mit dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 zu bilden, der eine verbesserte Lichterfassungsempfindlichkeit besitzt.

5

Diese Aufgabe wird durch einen Photodetektor und ein Lichterfassungsverfahren in Übereinstimmung mit den Patentansprüchen 1 bzw. 19 gelöst.

10 Da in anderen Bereichen als der Lichtabsorptionsschicht erzeugte unerwünschte Löcher durch die Elektrodeneinrichtung entfernt werden, wird demgemäß verhindert, daß die Löcher gespeichert werden und folglich wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert.

15

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine perspektivische Ansicht eines Photodetektors des  
20 Standes der Technik von der Art eines Wellenleiters;

Figur 2 eine perspektivische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

25

Figur 3 eine Ansicht zum Veranschaulichen eines Verfahrens zum Anlegen einer Vorspannung bei dem ersten Ausführungsbeispiel;

Figur 4 eine perspektivische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters  
30 in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

Figur 5 eine Ansicht zum Veranschaulichen eines Verfahrens zum Anlegen einer Vorspannung bei dem zweiten Ausführungsbeispiel;

35

Figur 6 eine perspektivische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

- 5    Figur 7 eine Ansicht zum Veranschaulichen eines Verfahrens zum Anlegen einer Vorspannung bei dem dritten Ausführungsbeispiel;

Figur 8 eine Querschnittsansicht eines vierten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in  
10    Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

Figur 9 eine perspektivische Ansicht eines fünften Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

15

Figur 10 eine Ansicht zum Veranschaulichen eines Verfahrens zum Anlegen einer Vorspannung bei dem fünften Ausführungsbeispiel;

Figur 11 eine perspektivische Ansicht eines sechsten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;  
20

Figur 12 eine perspektivische Ansicht eines siebten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;  
25

Figur 13 eine Querschnittsansicht eines achten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

30

Figur 14 eine perspektivische Ansicht eines neunten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

35    Figur 15 eine Querschnittsansicht des neunten Ausführungsbeispiels in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

Figur 16 eine Querschnittsansicht des neunten Ausführungsbeispiels zum Veranschaulichen eines Falls, bei dem eine äußere Vorspannung angelegt wird;

- 5    Figur 17 eine Ansicht des neunten Ausführungsbeispiels mit einem durch Lichtabsorption erzeugten Fluß von Ladungsträgern;

Figur 18 eine Ansicht eines optischen Systems zum Eingeben eines Lichtsignals in einen Photodetektor der vorliegenden Erfindung;

10

Figur 19 eine Ansicht des neunten Ausführungsbeispiels zum Veranschaulichen eines Flusses von unerwünschten Ladungsträgern, wenn eine Umkehrvorspannung zwischen Elektroden, die auf p- und n-Typ Störstellendifusionsschichten gebildet sind, angelegt wird;

15

Figur 20 eine Querschnittsansicht eines elften Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

20

Figur 21 eine perspektivische Ansicht eines zwölften Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

- 25    Figur 22 eine Querschnittsansicht des zwölften Ausführungsbeispiels in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

Figur 23 eine perspektivische Ansicht eines dreizehnten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von einem vertikalen Einfallstyp in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

30

Figur 24 eine Querschnittsansicht des dreizehnten Ausführungsbeispiels in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

35

Figur 25 eine perspektivische Ansicht eines vierzehnten Ausführungsbeispiels eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

Figur 26 eine Ansicht eines lokalen Netzwerksystems (LAN-System) mit einer Busstruktur, bei dem ein Photodetektor in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung verwendet wird, um ein Lichtsignal zu empfangen.

### Erstes Ausführungsbeispiel

Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Teil von diesem weggeschnitten ist.

In Figur 2 sind eine Pufferschicht 2 aus einer p-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 3 aus einer p- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 4 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten Eigenleitungs(i-oder  $\Phi$ -)- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und GaAs-Potentialtopfschichten (mit einer Tiefe von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 5 aus einer i- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem p-GaAs-Substrat 1 geschichtet.

Die Herstellung einer Steghohlleiterstruktur 8 zum Ausführen einer Begrenzung in einer seitlichen Richtung wird in der folgenden Weise durchgeführt:

(1) Eine Musterbildung eines Wellenleiters wird durch eine herkömmliche Photolithographie durchgeführt.

(2) Die zweite Mantelschicht 5 aus i- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$  wird durch eine herkömmliche reaktive Ionenstrahlätzung (RIE) unter Verwendung eines  $\text{Cl}_2$ -Gases bis zu einer Tiefe von 0,28  $\mu\text{m}$  geätzt, um einen Wellenleiter 8 zu bilden.

(3) Eine Schutzlackmaske wird entfernt und eine Oberfläche wird gründlich gereinigt.

Eine aktive Schicht 6 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$ , die mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  dotiert ist, wird dann auf den somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter 8 wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen kann ein Molekularstrahlepitaxie(MBE)-Verfahren, ein metallisch organisch-chemisches Dampfabscheidungs(MO-CVD)-Verfahren und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren verwendet werden.

Dann wird ein Lichtempfangsabschnitt erzeugt. Da der Lichtempfangsabschnitt einen Feldeffekttransistor(FET)-Aufbau besitzt, werden Source- und Drainelektroden 11 und 13, die als ohmsche Elektroden zum Erfassen von durch absorbiertes Licht erzeugte Ladungsträger dienen, mit Au-Ge/Ni/Au gebildet und eine Gateelektrode 12 wird durch eine Aluminium-Abscheidung gebildet. Was die Größe der Einrichtung betrifft, so beträgt die Gatelänge 4  $\mu\text{m}$ , die Gatebreite 100  $\mu\text{m}$ , die Entfernung zwischen der Source 11 und der Drain 13 1  $\mu\text{m}$  und die Entfernung zwischen der Gate 12 und der Drain 13 4  $\mu\text{m}$ . Weiter wird eine Elektrode 15 zum Beseitigen von unerwünschten Löchern durch Auftragen von Cr/Au auf der Grundfläche des Substrats 1 gebildet, wie in Figur 2 gezeigt.

Das Verfahren zur Herstellung des Lichtempfangsabschnitts der Einrichtung wird in der folgenden Weise durchgeführt:

(1) Die n-GaAs-Schicht der aktiven Schicht 6 wird mittels Photolithographie ausgewählt geätzt. Im Falle einer Naß-Ätzung wird das ausgewählte Ätzen unter Verwendung einer Ätzflüssigkeit aus einer Ammoniumlösung (1cc) und einer  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung (200cc) durchgeführt, während im Falle einer Trocken-Ätzung lediglich GaAs durch ein Verfahren zur reaktiven Ionenätzung (RIE) unter Verwendung eines  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ -Gases ausgewählt geätzt wird.



(2) Der Wafer wird erwärmt und Siliziumoxid wird mittels eines Sputter-Abscheidungssystems aufgetragen.

(3) Andere Abschnitte als die aktive Schicht 6 werden durch Photolithographie mit einem Schutzlack abgedeckt und das Ätzen wird unter Verwendung einer Puffer-HF-Lösung (buffered HF solution (BHF)) durchgeführt.

(4) Siliziumnitrid wird mittels des CVD-Verfahrens aufgetragen, um eine Oberfläche der aktiven Schicht 6 und eine Oberfläche der  $\Phi$ -AlGaAs-Schicht in anderen Abschnitten als dem Wellenleiter 8 zu schützen.

(5) Eine Musterbildung der Source- und Drainelektroden 11 und 13 wird durchgeführt.

(6) Das Siliziumnitrid der Source- und Drainelektroden 11 und 13 wird mittels des Verfahrens zur reaktiven Ionenätzung (RIE) unter Verwendung eines  $\text{CF}_4$ -Gases geätzt.

(7) Au-Ge/Ni/Au wird kontinuierlich aufgetragen.

(8) Au-Ge/Ni/Au in anderen Abschnitten als den Elektrodenabschnitten 11 und 13 wird mittels Erwärmen eines AZ-Entferners und Abschälen des Schutzlacks entfernt.

(9) Ein Legieren wird durchgeführt, um einen ohmschen Kontakt zwischen der aktiven Schicht 6 und den Elektroden 11 und 13 zu erhalten.

(10) Eine Musterbildung der Gateelektrode 12 wird durchgeführt.

(11) Das Siliziumnitrid auf dem Gateelektrodenabschnitt 12 wird mittels des Verfahrens zur reaktiven Ionenätzung (RIE) unter Verwendung eines  $\text{CF}_4$ -Gases geätzt.

(12) Ein Material aus Aluminium für die Gateelektrode 12 wird aufgetragen.

(13) Das Aluminium in anderen Abschnitten als dem Gateelektrodenabschnitt 12 wird mittels Erwärmen eines AS-Entferners und Abschälen des Schutzlacks entfernt.

(14) Das p-Typ-Substrat 1 wird mechanisch geläppt, um die Dicke der gesamten Einrichtung auf 100  $\mu\text{m}$  bis 150  $\mu\text{m}$  zu verringern.

(15) Cr/Au wird kontinuierlich auf der Grundfläche des Substrats 1 aufgetragen. Dieser Schritt wird gleich durchgeführt, da keine Musterbildung erforderlich ist.

(16) Ein Legieren wird durchgeführt, um einen ohmschen Kontakt zwischen dem Substrat 1 und der Elektrode 15 zu erhalten.

(17) Die Einrichtung wird an einem Gehäusesubstrat befestigt, um einen Kontakt mit ihrem Äußeren herzustellen.

Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird nachfolgend mit Bezug auf Figur 3 beschrieben. Wie in Figur 3 gezeigt, wird eine relativ zur Sourceelektrode 11 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 13 angelegt und eine relativ zur Sourceelektrode 11 negative Spannung  $V_G$  wird an die Gateelektrode 12 angelegt. Da die Gateelektrode 12 eine Schottky-Elektrode ist, bewirkt das Anlegen einer Umkehrvorspannung an diese eine Sperrschicht in der aktiven Schicht 6. Die Breite der Sperrschicht schwankt abhängig von der Gatespannung  $V_G$  und die Breite eines Kanals wird demgemäß geändert. Als Ergebnis wird ein zwischen der Drainelektrode 13 und der Sourceelektrode 11 fließender Drainstrom  $I_D$  geändert.

Wenn die Sperrschicht die zweite Mantelschicht 5 erreicht, wird der Kanal geschlossen und der Drainstrom  $I_D$  hört auf zu fließen. Wenn in diesem Abschnürzustand Licht mit einer Wellenlänge von 830 nm von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter 8 unter

der aktiven Schicht 6 übertragen wird, so wird das Licht übertragen, während es in der aktiven Schicht 6 wirksam absorbiert wird, wobei aufgrund der Existenz der zweiten Mantelschicht 5 eine geringe Reflexion auftritt (d.h., die Anpassung eines Brechungsindex wird durch die zweite Mantelschicht 5 hergestellt). Somit werden Ladungsträger in der aktiven Schicht 6 erzeugt.

Elektronen, die in der Sperrschicht und zwischen der Gate 12 und der Drain 13 erzeugt werden, erreichen die Drainelektrode 13 aufgrund eines dazwischen befindlichen elektrischen Feldes und werden dabei erfaßt. Löcher werden zur Sperrschicht gezogen und als Ergebnis wird die Sperrschicht zusammengezogen. Falls kein Licht einfällt, wird die Sperrschicht abgeschnürt und somit fließt kein Strom. Wenn Licht einfällt, zieht sich die Sperrschicht zusammen, wie vorstehend erwähnt, und es fließt ein Strom. Dabei ändert sich die Sperrschicht abhängig von der Stärke der Lichteinstrahlung und in Übereinstimmung mit der Stärke der Lichteinstrahlung fließt ein Strom zwischen der Sourceelektrode 11 und der Drainelektrode 13. Somit wird die Lichteinstrahlungsmenge erfaßt.

Andererseits werden durch in anderen Bereichen (die Mantelschichten 3 und 5, die Pufferschicht 2, die Wellenleiterschicht 4 und das Substrat 1) als der Lichtabsorptionsschicht 6 absorbiertes Licht erzeugte Lochladungsträger diffundiert und dabei gespeichert, da deren Beweglichkeit um mehr als eine Größenordnung geringer ist als die der Elektronen und in diesen anderen Bereichen fast kein elektrisches Feld existiert. Als Ergebnis verschlechtert sich die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) der Einrichtung. Weiter können sich Löcher zu diesen anderen Bereichen bewegen, da die Tiefe von Potentialtöpfen einer Bandstruktur im Valenzband der Überstrukturschicht 4 relativ klein ist. Darüberhinaus bewirken die gespeicherten Löcher ein unerwünschtes elektrisches Feld, da das Loch eine positive Ladung besitzt. Aufgrund dieses elektrischen Feldes wird die Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven Schicht 6 verringert.

Demgemäß wird die Licht-Strom-Charakteristik instabil gemacht und die Empfindlichkeit des Photodetektors somit erniedrigt.

Bei diesem Ausführungsbeispiel jedoch ist der Leitfähigkeits-Typ des Substrats 1 vom n-Typ. Die Elektrode 15 ist auf dem Substrat 1 gebildet und eine Vorspannung  $V_{SUB}$  wird angelegt, wie in Figur 3 gezeigt. Unerwünschte Löcher, die in anderen Bereichen als der aktiven Schicht 6 erzeugt werden, werden über das Substrat 1 somit beseitigt. Deshalb wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert. Weiter werden elektrostatische Potentiale von jeweiligen Abschnitten beim Photodetektor stabil gemacht, da das elektrische Feld aufgrund der unerwünschten Löcher verschwindet. Somit wird die Licht-Strom-Charakteristik stabil und die Empfindlichkeit wird bei diesem Ausführungsbeispiel verbessert.

#### Zweites Ausführungsbeispiel

Figur 4 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Teil davon weggeschnitten ist.

In Figur 4 sind eine Pufferschicht 22 aus einer  $\Phi$ -GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 23 aus einer  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 24 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und  $\Phi$ -GaAs-Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 25 aus einer p- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem halb-isolierenden GaAs-Substrat 21 geschichtet.

Dann wird in ähnlicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel ein Steghohlleiter hergestellt. Danach wird eine aktive oder

lichabsorbierende Schicht 26 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$  und dotiert mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$  auf den somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter wieder aufgewachsen und die Source-, Gate- und Drainelektroden 11, 12 und 13 werden in ähnlicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel gebildet. Weiter wird eine Elektrode 28 zum Beseitigen von unerwünschten Löchern in einem Bereich auf der zweiten Mantelschicht 25 neben dem Steghohlleiter gebildet.

Beim zweiten Ausführungsbeispiel wird ähnlich wie beim ersten Ausführungsbeispiel ebenfalls eine relativ zur Sourceelektrode 11 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 13 angelegt und eine zur Sourceelektrode 11 negative Spannung  $V_G$  wird an die Gateelektrode 12 angelegt, wie in Figur 5 gezeigt. Der Abschnürzustand ist somit hergestellt. Wenn in diesem Zustand Licht mit einer Wellenlänge von 830 nm von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter unter der aktiven Schicht 26 übertragen wird, so wird das Licht übertragen, während es in der aktiven Schicht 26 wirksam absorbiert wird. Somit werden Ladungsträger in der aktiven Schicht 26 erzeugt und das Licht wird in ähnlicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel erfaßt.

Beim zweiten Ausführungsbeispiel ist der Leitfähigkeitstyp der zweiten Mantelschicht 25 vom p-Typ und die auf dieser Schicht 25 gebildete Loch-Beseitigungselektrode 28 dient als eine Loch-Beseitigungsschicht, um unerwünschte Löcher, die in anderen Bereichen als der aktiven Schicht 26 erzeugt werden, wirksam zu beseitigen. Die Loch-Beseitigungselektrode 28 wird vorzugsweise über eine  $p^+$ -GaAs-Schicht, die auf der zweiten Mantelschicht 25 gebildet ist, auf der zweiten Mantelschicht 25 gebildet. Beim zweiten Ausführungsbeispiel können unerwünschte Löcher, die besonders im Wellenleiter und da herum erzeugt werden, unter hoher Geschwindigkeit wirksam beseitigt werden. Demzufolge werden die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und die Licht-Strom-Charakteristik weiter verbessert.

Drittes Ausführungsbeispiel . . . .

Figur 6 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Teil davon weggeschnitten ist

In Figur 6 sind eine Pufferschicht 32 aus einer p-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 33 aus einer p- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 34 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und  $\Phi\text{-GaAs}$ -Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 35 aus einer  $\Phi\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem p<sup>+</sup>-GaAs-Substrat 31 geschichtet. Ein Steghohlleiter wird dann mittels Ätzen der zweiten Mantelschicht 35 bis zu einer Tiefe von 0,28  $\mu\text{m}$  hergestellt. Danach wird eine aktive oder lichtabsorbierende Schicht 36 aus einer  $\Phi\text{-GaAs}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$  auf den somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen kann das Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Verfahren, das metallisch organisch-chemische Dampfabscheidungsverfahren (MO-CVD) und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren verwendet werden.

Die aktive Schicht 36 wird dann mittels Photolithographie ausgewählt geätzt und Ti/Pt/Au wird aufgetragen, um zwei Schottky-Elektroden 37a und 37b zu bilden. Ein Metall-Halbleiter-Metall (MSM)-Detektor wird somit hergestellt. Diese Elektroden 37a und 37b werden parallel zur Länge des Wellenleiters gebildet. Weiter wird Cr/Au auf der Grundfläche des Substrats 31 aufgetragen, wie in Figur 6 gezeigt, um eine Elektrode 38 zum Beseitigen von unerwünschten Löchern zu bilden.

Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird beschrieben. Wie in Figur 7 gezeigt, wird eine Vorspannung V zwischen den zwei Elektroden 37a und 37b angelegt, um zwischen den zwei

Elektroden 37a und 37b ein im wesentlichen einheitliches elektrisches Feld herzustellen und somit dazwischen einen Sperrbereich zu erhalten. Wenn in diesem Zustand Licht mit einer Wellenlänge von 830 nm von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter unter der aktiven Schicht 36 übertragen wird, so wird das Licht übertragen, während es in der aktiven Schicht 36 wirksam absorbiert wird. Somit werden in der aktiven Schicht 36 Ladungsträger erzeugt und sie driften zu den Elektroden 37a und 37b, um als ein Photostrom erfaßt zu werden. Andererseits können Lochladungsträger, die durch Licht, das in anderen Bereichen als der aktiven Schicht 36 (die Mantelschichten 33 und 35, die Pufferschicht 32, die Wellenleiterschicht 34 und das Substrat 31) absorbiert wird, erzeugt werden, die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und die Licht-Strom-Charakteristik der Einrichtung nachteilig beeinflussen, wie beim ersten Ausführungsbeispiel erläutert.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Leitfähigkeitstyp auf der Seite des Substrats 31 vom p-Typ, ähnlich wie beim ersten Ausführungsbeispiel, und die Elektrode 38 ist auf dem Substrat 31 gebildet. Unerwünschte Löcher, die in anderen Bereichen als der aktiven Schicht 36 erzeugt werden, können mittels Anlegen einer Vorspannung  $V_{SUB}$  über das Substrat 31 beseitigt werden, wie in Figur 7 gezeigt. Somit wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) in ähnlicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel verbessert. Da kein elektrisches Feld durch die unerwünschten Löcher verursacht wird, werden weiterhin elektrostatische Potentiale in jeweiligen Abschnitten des Photodetektors stabil. Als Ergebnis wird die Licht-Strom-Charakteristik stabilisiert und die Empfindlichkeit gesteigert.

#### Viertes Ausführungsbeispiel

Figur 8 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In Figur 8 sind eine Pufferschicht 22 aus einer  $\Phi$ -GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 23 aus einer  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 24 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und  $\Phi$ -GaAs-Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 25 aus einer p- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem halb-  
 isolierenden GaAs-Substrat 21 geschichtet, in ähnlicher Weise wie beim zweiten, in Figur 4 gezeigten, Ausführungsbeispiel. Ein Steghohlleiter wird dann mittels Ätzen der zweiten Mantelschicht 25 in ähnlicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel hergestellt. Gleichzeitig wird eine p<sup>+</sup>-GaAs-Kontaktschicht 43 für eine Ladungsträger-Beseitigungselektrode 44 gebildet, wie in Figur 8 gezeigt. Aufeinanderfolgende Verfahren sind die gleichen wie diejenigen beim zweiten Ausführungsbeispiel. Figur 8 ist eine Querschnittsansicht bei der Ladungsträger-Beseitigungselektrode 44.

Da bei diesem Ausführungsbeispiel die Kontaktschicht 43 für die Ladungsträger-Beseitigungselektrode 44 zum Verbessern eines ohmschen Kontaktes zwischen der Elektrode 44 und der zweiten Mantelschicht 25 gebildet ist, können die unerwünschten Ladungsträger bei hoher Geschwindigkeit wirksam beseitigt werden. Die Charakteristiken des zweiten Ausführungsbeispiels werden bei diesem Ausführungsbeispiel weiter verbessert.

#### Fünftes Ausführungsbeispiel

Figur 9 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Teil davon weggeschnitten ist.

In Figur 9 sind eine Pufferschicht 52 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 53 aus ei-



ner  $n\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von  $1,5\text{ }\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 54 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von  $0,39\text{ }\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von  $3\text{ nm}$ ) und  $\Phi\text{-GaAs}$ -Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von  $6\text{ nm}$ ) besteht, und eine zweite Mantelschicht 55 aus einer  $p\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von  $0,3\text{ }\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem  $n^+\text{-GaAs}$ -Substrat 51 geschichtet. Die Wellenleiterschicht 54 kann eine Schicht aus  $\text{AlGaAs}$ , dessen Aluminium-Mol-Bruchteil größer ist als der der Mantelschichten 53 oder 55, oder eine Schicht, bei der der Aluminium-Mol-Bruchteil geändert wird, sodaß sich ihr Brechungsindex in einer Schichtdickenrichtung zu ihrer Mitte hin stufenweise erhöht, oder dergleichen sein und ist bezüglich der Überstrukturschicht nicht beschränkt.

Die Herstellung einer Steghohlleiterstruktur 58 zum Ausführen einer Begrenzung in einer seitlichen Richtung wird in ähnlicher Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel in der folgenden Weise durchgeführt:

(1) Eine Musterbildung des Wellenleiters 58 wird mittels herkömmlicher Photolithographie durchgeführt.

(2) Die zweite Mantelschicht 55 aus  $p\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$  wird bis zu einer Tiefe von  $0,28\text{ }\mu\text{m}$  mittels der reaktiven Ionenstrahlätzung (RIE) unter Verwendung eines  $\text{Cl}_2$ -Gases geätzt, um den Wellenleiter 58 zu bilden.

(3) Eine Schutzlackmaske wird entfernt und eine Oberfläche wird gründlich gereinigt.

Eine aktive Schicht 56 aus einer  $n\text{-GaAs}$ -Schicht mit einer Dicke von  $0,2\text{ }\mu\text{m}$  und dotiert mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  wird dann auf dem somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen können das Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Verfahren, das metallisch organisch-chemische Dampfabscheidungsverfahren (MO-CVD)

und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren verwendet werden.

Ein Lichtempfangsabschnitt wird dann erzeugt. Da der Lichtempfangsabschnitt einen Feldeffekttransistor (FET)-Aufbau besitzt, werden Source- und Drainelektroden 11 und 13, die als ohmsche Elektroden zum Erfassen von durch das absorbierte Licht erzeugte Ladungsträger dienen, mit Au-Ge/Ni/Au gebildet und eine Gateelektrode 12 wird durch eine Aluminiumabscheidung gebildet. Was die Größen der Einrichtung anbelangt, so beträgt die Gatelänge 4  $\mu\text{m}$ , die Gatebreite 100  $\mu\text{m}$ , der Abstand zwischen der Source 11 und der Drain 13 1  $\mu\text{m}$  und der Abstand zwischen der Gate 12 und der Drain 13 4  $\mu\text{m}$ . Weiter wird eine Elektrode 57 zum Beseitigen unerwünschter Ladungsträger mittels Auftragen von Cr/Au in einem Bereich auf der zweiten Mantelschicht 55 aus p-AlGaAs neben dem Steghohlleiter 58 gebildet, wie in Figur 9 gezeigt.

Die Bearbeitung des Lichtempfangsabschnitts der Einrichtung wird in der folgenden Weise durchgeführt:

(1) Die n-GaAs-Schicht der aktiven Schicht 56 wird mittels Photolithographie ausgewählt geätzt. Im Falle einer Naß-Ätzung wird das ausgewählte Ätzen unter Verwendung einer Ätzflüssigkeit aus einer Ammoniumlösung (1cc) und einer  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung (200cc) durchgeführt, während im Falle einer Trocken-Ätzung lediglich GaAs mittels des reaktiven Ionenätz (RIE)-Verfahrens unter Verwendung eines  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ -Gases ausgewählt geätzt wird.

(2) Der Wafer wird erhitzt und mittels eines Sputter-Abscheidungssystems wird Siliziumoxid aufgetragen.

(3) Andere Abschnitte als die aktive Schicht 56 werden durch die Photolithographie mit einem Schutzlack bedeckt und das Ätzen wird unter Verwendung einer Puffer-HF-Lösung (buffered HF solution (BHF)) durchgeführt.

(4) Siliziumnitrid wird mittels des chemischen Dampfabscheidungsverfahrens (CVD) aufgetragen, um eine Oberfläche der aktiven Schicht 56 und eine Oberfläche der  $\Phi$ -AlGaAs-Schicht in anderen Abschnitten als dem Wellenleiter 58 zu schützen.

5

(5) Eine Musterbildung der Source- und Drainelektroden 11 und 13 wird durchgeführt.

10 (6) Das Siliziumnitrid der Source- und Drainelektroden 11 und 13 wird mittels des reaktiven Ionenätz(RIE)-Verfahrens unter Verwendung eines  $\text{CF}_4$ -Gases geätzt.

(7) Au-Ge/Ni/Au wird kontinuierlich aufgetragen.

15 (8) Au-Ge/Ni/Au in anderen Abschnitten als den Elektrodenabschnitten 11 und 13 wird mittels Erhitzen eines AZ-Entferners und Abschälen des Schutzlacks entfernt.

20 (9) Eine Musterbildung der Ladungsträger-Beseitigungselektrode 57 wird durchgeführt.

(10) Das Siliziumnitrid des Ladungsträger-Beseitigungselektrodenabschnitts 57 wird mittels des reaktiven Ionenätz(RIE)-Verfahrens unter Verwendung eines  $\text{CF}_4$ -Gases geätzt.

25

(11) Cr/Au wird aufgetragen.

(12) Ein Legieren wird durchgeführt, um einen ohmschen Kontakt der Elektroden 11 und 13 herzustellen.

30

(13) Eine Musterbildung der Gateelektrode 12 wird durchgeführt.

35 (14) Das Siliziumnitrid auf dem Gateelektrodenabschnitt 12 wird mittels des reaktiven Ionenätz(RIE)-Verfahrens unter Verwendung eines  $\text{CF}_4$ -Gases geätzt.

(15) Ein Material aus Aluminium für die Gateelektrode 12 wird durch ein herkömmliches Elektronenstrahl(EB)-Verfahren aufgetragen.

5 (16) Das Aluminium in anderen Abschnitten als dem Gateelektrodenabschnitt 12 wird mittels Erhitzen eines AZ-Entferners und Abschälen des Schutzlacks entfernt.

10 (17) Das  $n^+$ -Typ-Substrat 51 wird mechanisch geläppt, um die Dicke der gesamten Einrichtung auf 100  $\mu\text{m}$  bis 150  $\mu\text{m}$  zu verringern.

(18) Au-Ge/Ni/Au wird kontinuierlich aufgetragen.

15 (19) Ein Legieren wird zum Verbessern eines Kontaktes zwischen dem Substrat 51 und der Elektrode 59 durchgeführt.

(20) Die Einrichtung wird an einem Gehäusesubstrat befestigt, um einen Kontakt mit dem Äußeren herzustellen.

20 Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird nachfolgend mit Bezug auf Figur 10 beschrieben. Wie in Figur 10 gezeigt, wird eine relativ zur Sourceelektrode 11 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 13 und eine relativ zur Sourceelektrode 11 negative Spannung  $V_G$  an die Gateelektrode 12 angelegt.  
 25 Da die Gateelektrode 12 eine Schottky-Elektrode ist, bewirkt das Anlegen einer Umkehrvorspannung daran eine Sperrschicht in der aktiven Schicht 56. Die Breite der Sperrschicht ändert sich in Abhängigkeit von der Gatespannung  $V_G$  und die Breite eines Kanals wird demgemäß geändert. Als Ergebnis wird ein zwischen der Drainelektrode 13 und der Sourceelektrode 11 fließender Drainstrom  $I_D$   
 30 geändert.

Wenn die Sperrschicht die zweite Mantelschicht 55 erreicht, wird der Kanal geschlossen und der Drainstrom  $I_D$  hört auf zu fließen.

35 Wenn in diesem Abschnürzustand Licht mit einer Wellenlänge von 830 nm von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter 58 unter der aktiven Schicht 56 übertragen wird, so wird das Licht über-

tragen, während es in der aktiven Schicht 56 wirksam absorbiert wird, wobei aufgrund der Existenz der zweiten Mantelschicht 55 eine geringe Reflexion auftritt. Somit werden Ladungsträger in der aktiven Schicht 56 erzeugt.

5

In der Sperrschicht und zwischen der Gate 12 und der Drain 13 erzeugte Elektronen erreichen die Drainelektrode 13 aufgrund des elektrischen Feldes und werden dabei erfaßt. Löcher werden zur Sperrschicht gezogen und als Ergebnis zieht sich die Sperrschicht zusammen. Falls kein Licht einfällt, wird die Sperrschicht abgeschnürt und somit fließt kein Strom. Wenn Licht einfällt, zieht sich die Sperrschicht zusammen, wie vorstehend erwähnt, und es fließt ein Strom. Dabei ändert sich die Sperrschicht abhängig von der Stärke des einfallenden Lichts und zwischen der Sourceelektrode 11 und der Drainelektrode 13 fließt ein Strom in Übereinstimmung mit der Stärke des einfallenden Lichts. Somit wird die Menge des einfallenden Lichts erfaßt.

Andererseits können Ladungsträger, die durch Licht, das in anderen Bereichen (die Mantelschichten 53 und 55, die Pufferschicht 52, die Wellenleiterschicht 54 und das Substrat 51) als der Lichtabsorptionsschicht 56 absorbiert wird, erzeugt werden, gespeichert werden, da bei diesen anderen Bereichen fast kein elektrisches Feld besteht. Als Ergebnis kann sich die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) der Einrichtung verschlechtern.

Bei diesem Ausführungsbeispiel dient die zweite Mantelschicht 55 als die Ladungsträger-Beseitigungsschicht, die Elektroden 57 und 59 sind auf der zweiten Mantelschicht 55 und dem Substrat 51 gebildet und eine Umkehrvorspannung wird angelegt, wie in Figur 10 gezeigt. Unerwünschte Ladungsträger, die in den anderen Bereichen als der aktiven Schicht 56 erzeugt werden, werden somit beseitigt. Daher wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert. Weiterhin wird die Licht-Strom-Charakteristik stabil, weil die Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven Schicht 56 verbessert wird.

### Sechstes Ausführungsbeispiel

Figur 11 zeigt ein sechstes Ausführungsbeispiel eines Photode-  
 5 tektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit  
 der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Teil davon weggeschnit-  
 ten ist.

In Figur 11 sind eine Pufferschicht 62 aus einer n-GaAs-Schicht  
 10 mit einer Dicke von  $0,5\text{ }\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 63 aus ei-  
 ner  $\text{n-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von  $1,5\text{ }\mu\text{m}$ , eine Wellen-  
 leiterschicht 64 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke  
 von  $0,39\text{ }\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -  
 Barrierenschichten (mit einer Dicke von  $3\text{ nm}$ ) und  $\Phi\text{-GaAs}$ -  
 15 Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von  $6\text{ nm}$ ) besteht, und  
 eine zweite Mantelschicht 65 aus einer  $\text{p-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit  
 einer Dicke von  $0,3\text{ }\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem  $\text{n}^+\text{-GaAs}$ -  
 Substrat 61 geschichtet.

Ein Steghohlleiter wird dann in ähnlicher Weise wie beim fünften  
 20 Ausführungsbeispiel hergestellt. Danach wird eine aktive oder  
 lichtabsorbierende Schicht 66 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer  
 Dicke von  $0,2\text{ }\mu\text{m}$  und dotiert mit Silizium bei einer Konzentration  
 von  $1,0 \cdot 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  auf den somit hergestellten dreidimensionä-  
 25 len Wellenleiter wieder aufgewachsen und die Source-, Gate- und  
 Drainelektroden 11, 12 und 13 werden in ähnlicher Weise wie beim  
 fünften Ausführungsbeispiel gebildet. Weiterhin wird eine Elek-  
 trode 67 zum Beseitigen von unerwünschten Ladungsträgern in ei-  
 nem Bereich auf der zweiten Mantelschicht 65 aus p-AlGaAs und  
 30 auf einer verlängerten Linie des Steghohlleiters in einer Licht-  
 ausbreitungsrichtung gebildet, und eine Substratelektrode 69  
 wird auf der Grundfläche des Substrats 61 gebildet, wie in Figur  
 11 gezeigt.

35 Ähnlich wie beim fünften Ausführungsbeispiel wird ebenfalls beim  
 sechsten Ausführungsbeispiel eine relativ zur Sourceelektrode 11  
 positive Spannung  $V_0$  an die Drainelektrode 13 angelegt und eine

relativ zur Sourcelektrode 11 negative Spannung  $V_g$  wird an die Gateelektrode 12 angelegt. Der Abschnürzustand ist somit hergestellt. Wenn in diesem Zustand Licht mit einer Wellenlänge von 830 nm von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter unter der aktiven Schicht 66 übertragen wird, so wird das Licht übertragen, während es in der aktiven Schicht 66 wirksam absorbiert wird. Somit werden in der aktiven Schicht 66 Ladungsträger erzeugt und Licht wird in ähnlicher Weise wie beim fünften Ausführungsbeispiel erfaßt.

Andererseits werden unerwünschte Ladungsträger durch Licht, das in einem Bereich der aktiven Schicht 66 nicht vollständig absorbiert wird, in anderen Bereichen als der lichtabsorbierenden Schicht 66 (die Mantelschichten 63 und 65, die Pufferschicht 62 und das Substrat 61) erzeugt. Diese Ladungsträger können die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verschlechtern und ein unerwünschtes elektrisches Feld verursachen.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Elektrode 67 auf der verlängerten Linie des Wellenleiters gebildet, während die zweite Mantelschicht 65 als die Ladungsträger-Beseitigungsschicht dient, und zwischen der zweiten Mantelschicht 65 und dem Substrat 61 wird eine Spannung angelegt. Somit können die unerwünschten Ladungsträger, die durch Licht, das in der aktiven Schicht 66 nicht absorbiert wird, beseitigt werden. Daher wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert. Weiterhin wird die Licht-Strom-Charakteristik stabil gemacht, da die Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven Schicht 66 verbessert wird.

#### Siebtes Ausführungsbeispiel

Figur 12 zeigt ein siebtes Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Teil davon weggeschnitten ist.

- In Figur 12 sind eine Pufferschicht 72 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 73 aus einer n- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 74 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und  $\Phi$ -GaAs-Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 75 aus einer p- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem  $\text{n}^+$ -GaAs-Substrat 71 geschichtet. Ein Steghohlleiter wird dann mittels Ätzen der zweiten Mantelschicht 75 bis zu einer Tiefe von 0,28  $\mu\text{m}$  hergestellt. Danach wird eine aktive oder lichtabsorbierende Schicht 76 aus einer  $\Phi$ -GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$  auf den somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen können das Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Verfahren, das metallisch organisch-chemische Dampfabcheidungsverfahren (MO-CVD) und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren verwendet werden.
- Die aktive Schicht 76 wird dann mittels Photolithographie ausgewählt geätzt und Ti/Pt/Au wird aufgetragen, um zwei Schottky-Elektroden 77a und 77b zu bilden. Ein Metall-Halbleiter-Metall (MSM)-Detektor wird somit hergestellt. Diese Elektroden 77a und 77b werden parallel zur Ausdehnung des Wellenleiters gebildet. Weiterhin wird Cr/Au in einem Bereich auf der zweiten Mantelschicht 75 aus p-AlGaAs neben dem Steghohlleiter aufgetragen, wie in Figur 12 gezeigt, um eine Elektrode 78 zum Beseitigen von unerwünschten Ladungsträgern zu bilden.
- Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird nachfolgend beschrieben. Eine Vorspannung wird zwischen den zwei Elektroden 77a und 77b angelegt, um ein im wesentlichen einheitliches elektrisches Feld zwischen den zwei Elektroden 77a und 77b herzustellen und somit dazwischen einen Sperrbereich zu erhalten. Wenn in diesem Zustand Licht mit einer Wellenlänge von 830 nm von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter unter der aktiven Schicht 76 übertragen wird, so wird das Licht übertragen,



während es in der aktiven Schicht 76 wirksam absorbiert wird. Somit werden Ladungsträger in der aktiven Schicht 76 erzeugt und driften zu den Elektroden 77a und 77b, um als ein Photostrom erfaßt zu werden. Andererseits können unerwünschte Ladungsträger, die durch Licht, das in anderen Bereichen als der aktiven Schicht 76 (die Mantelschichten 73 und 75, die Pufferschicht 72, die Wellenleiterschicht 74 und das Substrat 71) absorbiert wird, erzeugt werden, die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und die Licht-Strom-Charakteristik der Einrichtung nachteilig beeinflussen, wie in den vorstehenden Ausführungsbeispielen erläutert.

Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Elektroden 78 und 79 auf der zweiten Mantelschicht 75 bzw. dem Substrat 71 gebildet, während die Mantelschicht 75 als eine Ladungsträger-Beseitigungsschicht dient, ähnlich wie beim sechsten Ausführungsbeispiel. Die unerwünschten Ladungsträger können somit beseitigt werden. Als Ergebnis wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert. Da weiterhin die Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven Schicht 76 verbessert wird, wird die Licht-Strom-Charakteristik ebenfalls verbessert.

#### Achtes Ausführungsbeispiel

Figur 13 zeigt ein achtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In Figur 13 sind eine Pufferschicht 62 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 63 aus einer n- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 64 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und  $\Phi$ -GaAs-Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 65 aus einer p- $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem n<sup>+</sup>-GaAs-Substrat 61 geschichtet, ähnlich wie beim siebten Ausführungs-

beispiel. Ein Steghohlleiter wird dann mittels Ätzen der zweiten Mantelschicht 65 in ähnlicher Weise wie beim siebten Ausführungsbeispiel hergestellt. Gleichzeitig wird eine  $p^+$ -GaAs-Kontaktschicht 83 für eine Ladungsträger-Beseitigungselektrode 84 gebildet, wie in Figur 13 gezeigt. Nachfolgende Verfahren sind die gleichen wie beim siebten Ausführungsbeispiel. Figur 13 ist eine Querschnittsansicht bei der Ladungsträger-Beseitigungselektrode 84.

- Da bei diesem Ausführungsbeispiel die Kontaktschicht 83 für die Ladungsträger-Beseitigungselektrode 84 gebildet ist, um einen ohmschen Kontakt zwischen der Elektrode 84 und der zweiten Mantelschicht 65 zu verbessern, können die Ladungsträger bei hoher Geschwindigkeit wirksam beseitigt werden. Die Charakteristiken des siebten Ausführungsbeispiels werden dadurch weiter verbessert.

#### Neuntes Ausführungsbeispiel

- Figur 14 zeigt ein neuntes Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung.

In Figur 14 sind eine Pufferschicht 92 aus einer  $\Phi$ -GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 93 aus einer  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 94 aus einer Überstrukturschicht mit einer Dicke von 0,39  $\mu\text{m}$ , die aus abwechselnd geschichteten  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Barrierenschichten (mit einer Dicke von 3 nm) und  $\Phi$ -GaAs-Potentialtopfschichten (mit einer Dicke von 6 nm) besteht, und eine zweite Mantelschicht 95 aus einer  $\Phi$ - $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem halbleitenden GaAs-Substrat 91 geschichtet. Die Wellenleiterschicht 94 kann eine Schicht aus AlGaAs, deren Aluminium-Mol-Bruchteil größer ist als derjenige der Mantelschichten 93 und 95 oder eine Schicht, bei der der Aluminium-Mol-Bruchteil so geändert wird, daß ihr Brechungsindex in der Weise eines abgestuften

Index stufenweise geändert wird, oder dergleichen sein und ist nicht auf die Überstrukturschicht beschränkt.

Die Herstellung einer Steghohlleiterstruktur 98 zum Ausführen einer Begrenzung in einer seitlichen Richtung wird in der folgenden Weise durchgeführt:

(1) Eine Musterbildung eines Wellenleiters wird durch eine herkömmliche Photolithographie auf dem Wafer durchgeführt.

(2) Die zweite Mantelschicht 95 aus  $\Phi\text{-Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$  wird bis zu einer Tiefe von  $0,28\text{ }\mu\text{m}$  mittels der reaktiven Ionenstrahlätzung (RIE) unter Verwendung eines  $\text{Cl}_2$ -Gases geätzt, um den Wellenleiter 98 zu bilden.

(3) Eine Schutzlackmaske wird entfernt und eine Oberfläche wird gründlich gereinigt.

Eine aktive Schicht 96 aus einer n-GaAs-Schicht mit einer Dicke von  $0,2\text{ }\mu\text{m}$  und dotiert mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  wird dann auf dem somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter ausgewählt wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen können das Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Verfahren, das metallisch organisch-chemische Dampfabscheidungsverfahren (MO-CVD) und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren verwendet werden.

Dann wird ein Lichtempfangsabschnitt erzeugt. Da der Lichtempfangsabschnitt einen Feldeffekttransistor (FET)-Aufbau besitzt, werden Source- und Drainelektroden 101 und 103, die als ohmsche Elektroden zum Erfassen von durch absorbiertes Licht erzeugten Ladungsträgern dienen, mit Au-Ge/Ni/Au gebildet und eine Gateelektrode 102, die als eine Schottky-Elektrode dient, wird durch eine Aluminiumabscheidung gebildet. Was die Größe der Einrichtung anbelangt, so beträgt die Gatelänge  $4\text{ }\mu\text{m}$ , die Gatebreite beträgt  $100\text{ }\mu\text{m}$ , der Abstand zwischen der Source 101 und der

Drain 103 beträgt 1  $\mu\text{m}$  und der Abstand zwischen der Gate 102 und der Drain 103 beträgt 4  $\mu\text{m}$ .

Die Herstellung des Lichtempfangsabschnitts der Einrichtung wird  
5 in der folgenden Weise durchgeführt:

(1) Die n-GaAs-Schicht der aktiven Schicht 96 wird mittels Photolithographie ausgewählt geätzt. Das ausgewählte Ätzverfahren ist ein Trockenätzen, bei dem lediglich GaAs durch das reaktive  
10 Ionenätz(RIE)-Verfahren unter Verwendung eines  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ -Gases ausgewählt geätzt wird.

(2) Störstellen-diffundierte Schichten 104 und 105 werden hergestellt, um darauf Ladungsträger-Beseitigungselektroden 106 und  
15 107 aufzutragen.

Dabei wird Silizium als eine n-Typ-Störstelle und Zink als eine p-Typ-Störstelle verwendet. Diffusionsbereiche sind an beiden Seiten des Wellenleiters 98 angeordnet, wie in Figur 15 gezeigt.  
20 Das Verfahren läuft wie folgt ab:

(a) Silizium (mit einer Dicke von 50 nm) wird über den gesamten Wafer, bei dem der Wellenleiter 98 hergestellt wird, aufgetragen, wie in Figur 15 gezeigt.  
25

(b) Überflüssiges Silizium wird mittels Photolithographie entfernt.

(c) Eine Schutzschicht (Siliziumoxid) wird über dem gesamten Wafer aufgetragen.  
30

(d) Der Wafer wird in einem Heizofen bis auf 800°C erhitzt, um das Silizium einzudiffundieren.

35 (e) Nach der Abkühlung werden das Siliziumoxid und das Silizium entfernt.

(f) Siliziumoxid wird über den gesamten Wafer aufgetragen.

(g) Ein Fenster wird mittels der Photolithographie lediglich an einem benötigten Abschnitt geöffnet.

5

(h) Der Wafer wird mit Zinkarsenid in einem Vakuumrohr abgedichtet.

(i) Sie werden in einem Heizofen bis auf 600°C erhitzt, um das  
10 Zink einzudiffundieren.

(j) Nach der Abkühlung wird das Siliziumoxid entfernt.

Das Herstellungsverfahren des Wellenleiters geht weiter.

15

(3) Das Muster wird bis auf 250°C erhitzt und Siliziumoxid wird mittels eines Sputter-Abscheidungssystems aufgetragen.

20

(4) Andere Abschnitte als die aktive Schicht 96 und der Ladungsträger-Beseitigungselektrodenabschnitt werden mittels Photolithographie mit einem Schutzlack bedeckt und ein Ätzen wird unter Verwendung einer Puffer-HF-Lösung (buffered HF solution (BHF)) durchgeführt.

25

(5) Eine Musterbildung der Source- und Drainelektroden 101 und 103 und der n-Typ Ladungsträger-Beseitigungselektrode 107 wird durchgeführt.

30

(6) Au-Ge/Ni/Au wird fortwährend aufgetragen.

(7) Au-Ge/Ni/Au in anderen Abschnitten als den Elektrodenabschnitten 101, 103 und 107 wird mittels Erhitzen eines Entfernens und Abschälen des Schutzlacks entfernt (Abtrage-Verfahren).

35

(8) Eine Musterbildung einer Absaugelektrode und der p-Typ Ladungsträger-Beseitigungselektrode 106 wird durchgeführt.

(9) Cr/Au wird fortwährend aufgetragen.

(10) Cr/Au in anderen Abschnitten als den Elektrodenabschnitten wird mittels Erhitzen eines Entfernens und Abschälen des Schutz-  
5 lacks entfernt.

(11) Ein Legieren wird durchgeführt, um zwischen der aktiven Schicht 96 und den Elektroden einen ohmschen Kontakt herzustellen.

10

(12) Eine Musterbildung der Gateelektrode 102 wird durchgeführt.

(13) Ein Material aus Aluminium für die Gateelektrode 102 wird aufgetragen.

15

(14) Das Aluminium in anderen Abschnitten als dem Gateelektrodenabschnitt 102 wird mittels Erhitzen eines Entfernens und Abschälen des Schutzlacks entfernt.

20 (15) Das halb-isolierende Substrat 91 wird mechanisch geläppt, um die Dicke der gesamten Einrichtung auf 100  $\mu\text{m}$  bis 150  $\mu\text{m}$  zu verringern.

(16) Au-Ge/Au wird kontinuierlich aufgetragen.

25

(17) Ein Legieren wird durchgeführt, um einen Kontakt mit dem Substrat 91 zu verbessern.

(18) Die Einrichtung wird an einem Gehäusesubstrat 99 befestigt,  
30 um einen Kontakt mit dem Äußeren herzustellen.

Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird nachfolgend mit Bezug auf Figur 16 beschrieben. Wie in Figur 16 gezeigt, wird eine relativ zur Sourceelektrode 101 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 103 und eine relativ zur Sourceelektrode 101 negative Spannung  $V_G$  an die Gateelektrode 102 angelegt. Da diese Einrichtung einen MESFET-Aufbau besitzt, wird  
35

bewirkt, daß sich eine Sperrschicht 118 von der Gateelektrode 102 in die aktive Schicht 96 erstreckt. Die Breite der Sperrschicht 118 schwankt abhängig von der Gatespannung  $V_G$  und die Breite eines Kanals wird demgemäß geändert. Als Ergebnis wird  
 5 ein zwischen der Drainelektrode 103 und der Sourceelektrode 101 fließender Drainstrom  $I_D$  geändert.

Wenn die Sperrschicht 118 die zweite Mantelschicht 95 erreicht, wird der Kanal geschlossen und der Drainstrom  $I_D$  hört auf zu  
 10 fließen.

Die Abschnürspannung der Gatespannung ist aus der  $I_D$ - $V_D$ -Charakteristik des hergestellten Feldeffekttransistor(FET)-Aufbaus bekannt und bei diesem Beispiel beträgt ihr Wert ungefähr  $V_G = -3V$ . Unter Verwendung eines optischen Systems 130, das  
 15 in Figur 18 gezeigt ist, wird Signallight 115 in eine Endfläche 116 dieser Einrichtung eingeführt. Die Wellenlänge  $\lambda$  des Signallichts 115 beträgt  $\lambda = 830 \text{ nm}$  (seine Photonenenergie beträgt  $E = 1,494 \text{ eV}$ ) und das Signallight 115 ist durch das optische System 130 mit der Wellenleiterschicht 94 gekoppelt. Das optische  
 20 System 130 enthält eine Laserdiode 131, einen Kollimator 132, ein anamorphisches Prismenpaar 133, einen Strahlaufweiter 134 und eine Empfängerlinse 135.

25 Wenn der Feldeffekttransistor(FET)-Aufbau als ein Photodetektor zu betreiben ist, sollte die Gatespannung auf die Abschnürspannung gesetzt werden, um die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) zu verbessern. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die Gatespannung  $V_G$  auf  $V_G = -3V$  gesetzt. Weiter wird  
 30 die Drainspannung  $V_D$  normalerweise auf 1V bis 5V gesetzt und diese Spannung wird bei diesem Ausführungsbeispiel auf  $V_D = 1,5 \text{ V}$  gesetzt. Ein Dunkelstrom beträgt zu diesem Zeitpunkt etwa 10 nA.

Das, wie in Figur 14 gezeigt, in die Endfläche 116 eingeführte  
 35 Signallight 115 wird über die Überstruktur-Wellenleiterschicht 94 übertragen und erreicht einen Abschnitt zwischen der Source 101 und der Drain 103 des Feldeffekttransistor(FET)-

Lichtempfangsabschnitts. Wie in Figur 17 gezeigt, wird das Signallicht 115 beim Feldeffekttransistor(FET)-Lichtempfangsabschnitt in der aktiven n-GaAs-Schicht 96 absorbiert und Elektronen 120 und Löcher 121 werden erzeugt. Die durch eine derartige Absorption erzeugten Elektronen 120 gelangen aufgrund des elektrischen Feldes zwischen der Gateelektrode 102 und der Drainelektrode 103 zur Drainelektrode 103. Die Elektronen zwischen der Gate 102 und der Source 101 bewegen sich zur Drainelektrode 103 hin, während sie in die Sperrschicht 118 diffundieren. Ein aus den Elektronen 120 resultierender Strom ist jedoch sehr klein, sodaß es schwierig ist, diesen Strom als einen Photostrom, der nach außen geführt wird, zu messen.

Die Löcher 121 diffundieren und bewegen sich in ähnlicher Weise wie die Elektronen 120 aufgrund des elektrischen Feldes zwischen der Gate 102 und der Drain 103 zur Sperrschicht 118 nahe der Gate 102. Die Löcher in der Sperrschicht 118 werden veranlaßt, durch das elektrische Feld zu driften und erreichen die Gateelektrode 102. Als Ergebnis wird eine an der Gateelektrode 102 angelegte Potentialbarriere erniedrigt und die Sperrschicht 118 zieht sich zusammen. Ein Kanal liegt einzig in der aktiven Schicht 96 des Feldeffekttransistor(FET)-Aufbaus vor, während die Sperrschicht 118 zusammengezogen wird, und somit bewegen sich die Elektronen von der Sourceelektrode 101 und der Drainelektrode 103, um einen Drainstromfluß zu bewirken. Als Unterschied von dem vorstehend erwähnten Photostrom besitzt dieser Drainstrom einen Wert, der von der Spannung zwischen der Source 101 und der Drain 103 bestimmt wird, und daher wird diese Spannung unter Berücksichtigung eines Verhältnisses zwischen dem Signallicht und dem Dunkelstrom bestimmt.

Die Löcher 121, die die Gateelektrode 102 erreichen, werden in eine äußere Schaltung herausgezogen und in einem Kondensator in der äußeren Schaltung rekombiniert. Die Löcher werden somit ausgelöscht. Gleichzeitig wird die an der Gate 102 angelegte Potentialbarriere in einen Ausgangszustand zurückgeführt, bevor das Signallicht eingeführt wird. Als Ergebnis breitet sich die



Sperrschicht 118 aus, um den Kanal in der aktiven Schicht 96 zu schließen, und der Drainstrom hört auf zu fließen.

Andererseits können Ladungsträger, die durch Licht, das in anderen Bereichen (die Mantelschichten 93 und 95, die Pufferschicht 92 und besonders die Wellenleiterschicht 94) als der aktiven Schicht 96 absorbiert wird, erzeugt werden, in diesen anderen Bereichen gespeichert werden, da in diesen anderen Bereichen fast kein elektrisches Feld besteht. Diese gespeicherten, unerwünschten Ladungsträger werden verschwinden, nachdem eine Rekombinationszeit (mehrere Nanosekunden) abgelaufen ist. Einige Ladungsträger jedoch fließen innerhalb der Rekombinationszeit in die aktive Schicht 96 und diese können die Verschlechterung der Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) des Photodetektors und ein unerwünschtes elektrisches Feld verursachen. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die störstellen-diffundierten Schichten 104 und 105 zum Beseitigen unerwünschter Ladungsträger in den Mantelschichten 93 und 95 auf beiden Seiten des Steghohlleiters 98 gebildet und die ohmschen Elektroden 106 und 107 sind darauf gebildet. Eine Umkehrspannung  $V_r$  wird angelegt, wie in Figur 19 gezeigt. Die in den anderen als der aktiven Schicht 96 erzeugten unerwünschten Ladungsträger können somit nach außen beseitigt werden. Daher wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert und die Licht-Strom-Charakteristik wird ebenfalls verbessert, da durch die unerwünschten Ladungsträger kein unerwünschtes elektrisches Feld erzeugt wird. Somit wird die Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven Schicht 96 verbessert. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden keine besonderen Schichten, wie etwa eine  $p^+$ -GaAs-Schicht, zum Bilden der Ladungsträger-Beseitigungselektroden 106 und 107 benötigt, sodaß die Positionen der Elektroden 106 und 107 relativ frei ausgewählt werden können.

#### Zehntes Ausführungsbeispiel

35

Bei dem neunten Ausführungsbeispiel wird die Wärmediffusion von Störstellen verwendet, um die Ladungsträger-Beseitigungs-

schichten zu bilden, aber bei diesem Ausführungsbeispiel werden die störstellen-diffundierten Schichten 104 und 105, die in Figur 14 gezeigt sind, durch Einschießen von p- bzw. n-Störstellen da hinein gebildet. Dies wird durch ein Ioneninjektionssystem ausgeführt.

Injektionsbedingungen sind wie folgt:

(1) Eine Injektionstiefe wird auf ungefähr 0,3  $\mu\text{m}$  bei seiner Spitzenposition gesetzt, da die Injektion von der Höhe des Bodens des Steghohlleiters 98 durchgeführt wird.

(2) Eine Ladungsträgerkonzentration wird auf ungefähr  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  gesetzt.

(3) Die p-Typ Störstelle ist Zink. Beryllium, Magnesium und Germanium können ebenfalls verwendet werden. Die n-Typ Störstelle ist Silizium. Tellur oder dergleichen kann ebenfalls verwendet werden.

Nachdem die jeweiligen Ionen getrennt injiziert sind, werden sie durch ein Gesamt-Ausheilverfahren bei einer Aktivierungstemperatur von 600 °C bis 700 °C aktiviert. Eine große Konzentration der Störstellen kann durch eine derartige Bildung der störstellen-diffundierten Schichten 104 und 105 leicht erhalten werden. Weiterhin wird die Herstellung der Einrichtung erleichtert, weil weder eine strenge Zeitsteuerung noch ein Abdichtungsverfahren benötigt werden, wie es bei dem Wärmediffusionsverfahren der Fall ist. Die Funktion ist im wesentlichen die gleiche wie beim neunten Ausführungsbeispiel.

#### Elftes Ausführungsbeispiel

Figur 20 zeigt ein elftes Ausführungsbeispiel. Bei dem neunten Ausführungsbeispiel wird die Begrenzung des Eingabesignallichts in einer seitlichen Richtung mittels der Steghohlleiterstruktur, die als eine dreidimensionale Wellenleiterstruktur gebildet ist,

durchgeführt. In einem Fall der Steghohlleiterstruktur jedoch sind die Breite und Tiefe des Grates kritisch, um einen Ausbreitungsmodus des übertragenen Lichts streng zu steuern, und insbesondere die Stegtiefe sollte für die Steuerung eines Transversalmodus genau gesteuert werden.

Bei diesem Ausführungsbeispiel besitzt die Wellenleiterschicht 94 eine Überstruktur und die p- und n-Störstellen werden unter die Waferoberfläche jeweils eindiffundiert. Als Ergebnis werden die Ladungsträger-Beseitigungsbereiche 104 und 105 gebildet, während die dreidimensionale Struktur des Wellenleiters unter Verwenden der Auflösung der Überstruktur 94 zur Zeit der Störstellendiffusion gebildet wird. Nachdem die aktive Schicht 96, ähnlich wie beim neunten Ausführungsbeispiel, trocken-geätzt ist, werden bei diesem Verfahren die p- und n-Störstellen unter der Oberfläche der zweiten Mantelschicht 95 jeweils eindiffundiert. Der Abstand zwischen den p- und n-Bereichen 104 und 105, der nach der Störstellendiffusion herzustellen ist, muß nur auf einen Wert gesetzt werden, der eine Einzelmodus-Bedingung des übertragenen Lichts erfüllt (z.B.,  $\lambda=830$  nm und der Abstand oder die Breite beträgt 4  $\mu\text{m}$ ). Weiterhin ist die Diffusionstiefe nur annehmbar, falls die Diffusionsfront die Tiefe unterhalb der Wellenleiterschicht 94 erreicht. Schließlich werden die ohmschen Elektroden 107 und 106 in ähnlicher Weise wie beim neunten Ausführungsbeispiel auf den p- und n-diffundierten Schichten 104 bzw. 105 gebildet. Somit können in der Wellenleiterschicht 94 erzeugte überschüssige Ladungsträger mittels Anlegen einer Umkehrspannung nach außen beseitigt werden, wie in Figur 19 gezeigt.

Daher wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert und die Licht-Strom-Charakteristik wird ebenfalls verbessert, weil durch die überschüssigen Ladungsträger kein unerwünschtes elektrisches Feld erzeugt wird. Weiterhin wird die Überstruktur 94 durch die Störstellendiffusion aufgelöst und ihre Energielücke wird gleich der Halbleiterlücke einer Grundmaterialstruktur gemacht. Als Ergebnis wird der Brechungsindex in

diesem aufgelösten Bereich verringert und somit die Begrenzung in der seitlichen Richtung verbessert.

### Zwölftes Ausführungsbeispiel

5

Figur 21 zeigt ein zwölftes Ausführungsbeispiel eines Photodetektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung.

- 10 In Figur 21 sind eine Pufferschicht 142 aus einer p-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 143 aus einer  $\Phi\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 144 aus einer  $\Phi\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,4  $\mu\text{m}$  und eine zweite Mantelschicht 145 aus einer
- 15  $\Phi\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem p-GaAs-Substrat 141 geschichtet. Dabei wird der Aluminium-Mol-Bruchteil x von der Substratseite aus gesehen stufenweise von 0 bis 0,5 geändert. Der Aluminium-Mol-Bruchteil y beträgt in der Mitte 3 und wird in der Weise einer parabolischen
- 20 Funktion geändert, wobei an den beiden Enden der Wert 0,3 beträgt, und der Aluminium-Mol-Bruchteil z wird von der Substratseite aus gesehen stufenweise von 0,5 bis 0 geändert. Bei diesem Aufbau wird die Bandlücke zu beiden Außenseiten des Wafers hin enger, sodaß Löcher leicht beseitigt werden können.

25

Die Herstellung einer Steghohlleiterstruktur für eine Begrenzung in einer seitlichen Richtung wird in der folgenden Weise durchgeführt:

- 30 (1) Eine Musterbildung eines Wellenleiters wird mittels herkömmlicher Photolithographie auf dem Wafer durchgeführt.

- (2) Die zweite Mantelschicht 145 aus  $\Phi\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  wird bis zu einer Tiefe von 0,28  $\mu\text{m}$  geätzt, um den Wellenleiter zu bilden. Der
- 35 Steghohlleiter kann nicht nur durch Ätzen der zweiten Mantelschicht 145 (ein Lade-Typ) gebildet werden, sondern durch Ätzen der Wellenleiterschicht 144 aus  $\Phi\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ .

Eine n-GaAs-Schicht 146 mit einer Dicke von  $0,2 \mu\text{m}$  und dotiert mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$  wird dann auf dem somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter ausgewählt wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen können das Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Verfahren, das metallisch organisch-chemische Dampfabscheidungs (MO-CVD)-Verfahren und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren verwendet werden.

Ein Lichtempfangsabschnitt wird dann erzeugt. Da der Lichtempfangsabschnitt einen Feldeffekttransistor (FET)-Aufbau besitzt, werden Source- und Drainelektroden 147 und 149, die als ohmsche Elektroden zum Erfassen eines Photostroms dienen, mit Au-Ge/Ni/Au gebildet und eine Gateelektrode 148, die als eine Schottky-Elektrode dient, wird durch eine Aluminiumabscheidung gebildet. Was die Größe der Einrichtung anbelangt, so beträgt die Gatelänge  $1 \mu\text{m}$  bis  $4 \mu\text{m}$ , die Gatebreite beträgt  $100 \mu\text{m}$ , der Abstand zwischen der Source 147 und der Drain 149 beträgt  $1 \mu\text{m}$  und der Abstand zwischen der Gate 148 und der Drain 149 beträgt  $4 \mu\text{m}$ .

Nachdem durch Lappen des Substrats 141 die gesamte Dicke des Wafers auf  $100 \mu\text{m}$  bis  $150 \mu\text{m}$  verringert ist, wird auf der Grundfläche des Substrats 141 Cr/Au aufgetragen und dazwischen wird ein ohmscher Kontakt hergestellt.

Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird nachfolgend mit Bezug auf Figur 22 erläutert. Wie in Figur 22 gezeigt, wird eine relativ zur Sourceelektrode 147 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 149 angelegt und eine relativ zur Sourceelektrode 147 negative Spannung  $V_G$  wird an die Gateelektrode 148 angelegt. Da die Gateelektrode 148 eine Schottky-Elektrode ist, läßt man eine Sperrschicht 160 sich von der Gateelektrode 148 in die aktive Schicht 146 ausbreiten. Die Breite der Sperrschicht 160 ändert sich in Abhängigkeit von der Gatespannung  $V_G$  und die Breite eines Kanals wird demgemäß geändert. Als Ergebnis wird ein zwischen der Drainelektrode 149 und der Sourceelektrode 147

fließender Drainstrom  $I_D$  geändert. Wenn die Sperrschicht 160 die zweite Mantelschicht 145 erreicht, wird der Kanal geschlossen und der Drainstrom  $I_D$  hört auf zu fließen.

- 5 Wenn in diesem Zustand Licht (mit einer Wellenlänge von ungefähr 830 nm) von einem Halbleiterlaser in einen Wellenleiter 161 unter der aktiven Schicht 146 eingeführt wird, so wird das Licht übertragen, während es in der aktiven Schicht 146 wirksam absorbiert wird und Ladungsträger werden darin erzeugt. Als Ergebnis  
10 wird das Potential nahe des Kanals geändert und zwischen der Source 147 und der Drain 149 fließt ein Strom.

- Andererseits werden Lochladungsträger, die durch in anderen Bereichen (die Mantelschichten 143 und 145, die Pufferschicht 142,  
15 die Wellenleiterschicht 144 und das Substrat 141) als der aktiven Schicht 146 absorbiertes Licht erzeugt werden, diffundiert und gespeichert, da deren Beweglichkeit um etwa eine Größenordnung geringer ist als die der Elektronen und in diesen anderen Bereichen fast kein elektrisches Feld besteht. Als Ergebnis wird  
20 die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) der Einrichtung eher verschlechtert. Weiter können die gespeicherten Löcher ein elektrisches Feld verursachen, und dieses elektrische Feld kann zu einer Verringerung der Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven Schicht 146 führen. Demgemäß wird die Licht-Strom-  
25 Charakteristik instabil gemacht und gleichzeitig die Empfindlichkeit des Photodetektors herabgesetzt.

- Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Leitfähigkeitstyp des Substrats 141 vom p-Typ, die Elektrode 150 ist auf dem Substrat  
30 141 gebildet und eine Vorspannung  $V_{SUB}$  wird angelegt, wie in Figur 22 gezeigt. In den anderen Bereichen als der aktiven Schicht 146 erzeugte Löcher werden somit über das Substrat 141 beseitigt. Zusätzlich wird der Aluminium-Mol-Bruchteil der AlGaAs-Schichten stufenweise geändert, sodaß der Stau von Ladungsträgern an Hetero-Übergängen verhindert werden kann und sie wirksam beseitigt  
35 werden können. Daher wird die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) verbessert. Weiterhin werden elektrostati-

sche Potentiale von jeweiligen Abschnitten beim Photodetektor stabil gemacht, da das elektrische Feld aufgrund der unerwünschten Ladungsträger verschwindet. Somit wird die Licht-Strom-Charakteristik stabil gemacht und die Empfindlichkeit verbessert.

### Dreizehntes Ausführungsbeispiel

Figur 23 zeigt ein dreizehntes Ausführungsbeispiel in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung.

In Figur 23 sind eine erste Pufferschicht 173 aus einer p-GaAs-Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$  und eine zweite Pufferschicht 174 aus einer p- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem p-GaAs-Substrat 172 geschichtet. Dabei wird der Aluminium-Mol-Bruchteil  $x$  innerhalb von 1,5  $\mu\text{m}$  von der Substratseite stufenweise von 0 bis 0,5 geändert. Der Aluminium-Mol-Bruchteil  $x$  ist im Bereich von 0,5  $\mu\text{m}$  bis 1  $\mu\text{m}$  von der Substratseite gleich 0,5 und der Aluminium-Mol-Bruchteil  $x$  wird im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 1,5  $\mu\text{m}$  von der Substratseite stufenweise von 0,5 bis 0 geändert. Bei diesem Aufbau wird die Bandlücke zu den beiden Außenseiten des Wafers hin enger, sodaß Löcher leicht beseitigt werden können. Eine n-GaAs-Schicht 175 mit einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$  und dotiert mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  wird dann auf der zweiten Pufferschicht 174 geschichtet.

Ein Lichtempfangsabschnitt wird dann in der selben Weise wie bei dem zwölften Ausführungsbeispiel hergestellt. Es wird nämlich jeweils eine Sourceelektrode 176, eine Drainelektrode 178, eine Gateelektrode 177 und eine Bodenelektrode 179 gebildet.

Die Funktion der somit hergestellten Einrichtung wird nachfolgend mit Bezug auf Figur 24 beschrieben. Wie in Figur 24 gezeigt, wird eine relativ zur Sourceelektrode 176 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 178 angelegt, und eine relativ zur Sourceelektrode 176 negative Spannung  $V_G$  wird an die Gateelektro-

de 177 angelegt. Somit wird der Abschnürzustand in ähnlicher Weise wie beim zwölften Ausführungsbeispiel hergestellt.

Wenn in diesem Zustand Licht (mit einer Wellenlänge von 830 nm) von einem Halbleiterlaser von oberhalb der Einrichtung auf die Gateelektrode 177 und auf einen Bereich zwischen der Gate 177 und der Drain 178 fällt, wird das einfallende Licht in der aktiven Schicht 175 absorbiert und dabei werden Ladungsträger erzeugt. Als Ergebnis wird ein Potential nahe einem Kanal 180 geändert und es fließt ein Strom zwischen der Source 176 und der Drain 178.

Andererseits wird, ähnlich wie beim zwölften Ausführungsbeispiel, das Licht in anderen Bereichen als der aktiven Schicht 175 absorbiert und in diesen Bereichen werden ebenfalls Ladungsträger erzeugt. Diese überschüssigen Ladungsträger und insbesondere Löcher können zu einer Verschlechterung der Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und der Licht-Strom-Charakteristik führen.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Leitfähigkeitstyp des Substrats 172 vom p-Typ, die Elektrode 179 ist auf dem Substrat 172 gebildet und eine Vorspannung  $V_{SUB}$  wird angelegt, wie in Figur 24 gezeigt. In anderen Bereichen als der aktiven Schicht 175 erzeugte Löcher werden somit über das Substrat 172 beseitigt. Zusätzlich wird der Aluminium-Mol-Bruchteil der AlGaAs-Schicht stufenweise geändert, sodaß der Stau von Ladungsträgern an Hetero-Übergängen verhindert werden kann und sie wirksam beseitigt werden können. Daher werden die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und die Empfindlichkeit des Photodetektors in ähnlicher Weise wie beim zwölften Ausführungsbeispiel verbessert.

#### Vierzehntes Ausführungsbeispiel



Figur 25 zeigt ein vierzehntes Ausführungsbeispiel eines Photo-detektors von der Art eines Wellenleiters in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung.

5 In Figur 25 sind eine Pufferschicht 192 aus einer  $\Phi$ -GaAs-Schicht mit einer Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$ , eine erste Mantelschicht 193 aus einer  $\Phi$ - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$ , eine Wellenleiterschicht 194 aus einer  $\Phi$ - $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,4  $\mu\text{m}$  und eine zweite Mantelschicht 195 aus einer  
 10  $\Phi$ - $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ -Schicht mit einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  aufeinanderfolgend auf einem halb-isolierenden GaAs-Substrat 191 geschichtet. Dabei wird der Aluminium-Mol-Bruchteil  $x$  stufenweise von 0 bis 0,5 von der Substratseite aus gesehen geändert. Der Aluminium-Mol-Bruchteil  $y$  beträgt in der Mitte 0,3 und wird in parabolischer  
 15 Weise geändert, wobei er an den beiden Enden 0,5 beträgt, und der Aluminium-Mol-Bruchteil  $z$  wird stufenweise von 0,5 bis 0 von der Substratseite aus gesehen geändert. Bei diesem Aufbau wird die Bandlücke zu beiden Außenseiten des Wafers hin enger, sodaß unerwünschte Löcher leicht beseitigt werden können.

20

Die Herstellung einer Steghohlleiterstruktur zum Ausführen einer Begrenzung in einer seitlichen Richtung wird in der gleichen Weise wie beim zwölften Ausführungsbeispiel durchgeführt. Eine mit Silizium bei einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  dotierte  
 25 n-GaAs-Schicht 196 wird dann auf dem somit hergestellten dreidimensionalen Wellenleiter ausgewählt wieder aufgewachsen. Für diese Strukturen können das Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Verfahren, das metallisch organisch-chemische Dampfabscheidungsverfahren (MO-CVD) und dergleichen als ein Kristallwachstumsverfahren  
 30 ren verwendet werden.

Ein Lichtempfangsabschnitt wird dann hergestellt. Da der Lichtempfangsabschnitt einen Feldeffekttransistor (FET)-Aufbau besitzt, werden Source- und Drainelektroden 197 und 199, die als  
 35 ohmsche Elektroden zum Erfassen eines Photostroms dienen, mit Au-Ge/Ni/Au gebildet und eine Gateelektrode 198, die als eine Schottky-Elektrode dient, wird durch eine Aluminiumabscheidung

gebildet. Weiter wird eine Ladungsträger-Beseitigungselektrode 200 auf einem Bereich der p-Typ Mantelschicht 195 neben dem Steghohlleiter aufgetragen, wie in Figur 25 gezeigt.

5 In ähnlicher Weise wie beim zwölften Ausführungsbeispiel wird eine relativ zur Sourceelektrode 197 positive Spannung  $V_D$  an die Drainelektrode 199 angelegt und eine relativ zur Sourceelektrode 197 negative Spannung  $V_G$  wird an die Gateelektrode 198 angelegt. Der Abschnürzustand wird somit hergestellt. Weiter wird eine re-  
10 lativ zur Sourceelektrode 197 negative Spannung an die Ladungsträger-Beseitigungselektrode 200 angelegt.

Wenn in diesem Zustand Licht (mit einer Wellenlänge von 830 nm) von einem Halbleiterlaser über den Wellenleiter übertragen wird,  
15 so wird das Licht übertragen, während es in der aktiven Schicht 196 absorbiert wird und dabei werden Ladungsträger erzeugt. Das Licht wird somit in ähnlicher Weise wie beim zwölften Ausführungsbeispiel erfaßt. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Leitfähigkeitstyp der zweiten Mantelschicht 195 neben der akti-  
20 ven Schicht 196 vom p-Typ und die Elektrode 200 wird auf der zweiten Mantelschicht 195 gebildet. In anderen Bereichen als der aktiven Schicht 196 erzeugte Löcher werden somit über die Elektrode 200 beseitigt. Zusätzlich wird der Aluminium-Mol-Bruchteil der AlGaAs-Schichten stufenweise geändert, sodaß der Stau von  
25 Ladungsträgern an Hetero-Übergängen verhindert werden kann und sie wirksam beseitigt werden können. Daher werden die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und die Empfindlichkeit des Photodetektors verbessert, wie mit Bezug auf das zwölfte Ausführungsbeispiel beschrieben.

30

#### Fünfzehntes Ausführungsbeispiel

Figur 26 zeigt ein optisches lokales Netzwerk (LAN) mit einer Bus-Struktur, bei dem der Photodetektor der vorliegenden Erfin-  
35 dung verwendet wird. Dieses System enthält Knoten 350, von denen jeder einen Senderabschnitt 300 und einen Empfängerabschnitt 302 besitzt, und eine Lichtübertragungsleitung 301.

Der Senderabschnitt 300 enthält eine Lichtquelle, wie etwa einen Halbleiterlaser, eine Lichtmodulationsschaltung und so weiter, wie sie als Stand der Technik wohl bekannt sind. Der Empfängerabschnitt 302 enthält einen Photodetektor, einen Verstärker, ein Filter, einen Signalprozessor und so weiter. Der Photodetektor im Empfängerabschnitt 302 ist der von der vorliegenden Erfindung.

Ein von dem Senderabschnitt 300 in einem Knoten 350 übertragenes Lichtsignal wird über einen mit dem Sendeknoten 350 verbundenen Koppler 380, die optische Übertragungsleitung 301 und den mit dem Empfangsknoten 350 verbundenen Koppler 380 durch den Empfängerabschnitt 302 in einem anderen Knoten 350 empfangen. Das Signal wird durch den Photodetektor der vorliegenden Erfindung beim Empfangsknoten 350 erfaßt und durch weitere elektronische Schaltungen, wie etwa dem Verstärker, dem Filter und dem Signalprozessor, verarbeitet, um in ein Ausgabesignal umgewandelt zu werden.

20

Als ein Zugriffssteuersystem können ein Mehrfachzugriffssystem mit Kollisionserkennung (CSMA/CD), ein „Token-passing“-System oder dergleichen verwendet werden. Eine optische Hochgeschwindigkeitsübertragung kann unter Verwendung des Photodetektors der vorliegenden Erfindung bei dem System erhalten werden. Der Photodetektor der vorliegenden Erfindung kann natürlich bei jeder Art von einem optischen Übertragungssystem (wie etwa einem Ring-Typ oder einem Stern-Typ) verwendet werden.

Durch einen Photodetektor und ein optisches Übertragungssystem in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung können folgende technische Vorteile erhalten werden:

(1) Eine Zeitverzögerung aufgrund der gespeicherten unerwünschten Ladungsträger, insbesondere Löcher, wird durch das Entfernen der unerwünschten Ladungsträger beseitigt und die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) wird verbessert.

(2) Elektrostatische Potentiale bei jeweiligen Abschnitten des Photodetektors werden stabilisiert, da durch die gespeicherten unerwünschten Ladungsträger, insbesondere Löcher, kein elektrisches Feld erzeugt wird, und die Licht-Strom-Charakteristik wird somit stabil gemacht.

(3) Die Licht-Strom-Charakteristik wird verbessert, da die Begrenzung von Ladungsträgern in der aktiven oder lichtabsorbierenden Schicht verbessert wird.

(4) Eine Schaltungsintegration wird einfach, da ein Photodetektor leicht als ein Feldeffekttransistor(FET)-Aufbau hergestellt werden kann, sodaß zusammen mit der Herstellung des Photodetektors ein Vorverstärker hergestellt werden kann.

(5) Ein gutes Signal-Rausch(S/N)-Verhältnis und eine bessere Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) können erhalten werden, da ein Photodetektor mit einem Vorverstärker leicht integriert werden kann.

(6) Ein optisches lokales Netzwerk(LAN)-System oder ein optisches Übertragungssystem kann eine Übertragung mit hoher Bitrate ausführen, da ein dabei verwendeter Photodetektor eine Hochgeschwindigkeitsantwortzeit besitzen kann.

Weiter können die folgenden technischen Vorteile durch einen Photodetektor, bei dem die p-Typ Störstellendiffusionsschicht mit der ohmschen Elektrode darauf und die n-Typ Störstellendifusionsschicht mit der ohmschen Elektrode darauf jeweils auf beiden Seiten eines Übertragungswellenleiters des Photodetektors angeordnet sind, ebenfalls erhalten werden:

(1) Ladungsträger (Elektronen und Löcher), die in anderen Bereichen als der aktiven Schicht erzeugt werden, können durch Anlegen einer Umkehrvorspannung zwischen den ohmschen Elektroden beseitigt werden. Als Ergebnis kann die Verschlechterung einer

Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) des Photodetektors aufgrund der Diffusion von Löchern in die aktive Schicht verhindert werden und gleichzeitig kann der Anstieg eines Dunkelstroms aufgrund der Diffusion von Elektronen verhindert werden. Daher wird das Signal-Rausch(S/N)-Verhältnis ebenfalls verbessert.

(2) In einem Fall, bei dem ein Wellenleiter durch Auflösen einer Überstruktur durch die p- und n-Störstellendiffusionsschichten gebildet wird, wird der Brechungsindex der aufgelösten Abschnitte verringert. Als Ergebnis wird die Begrenzung von sich ausbreitendem Licht in einer seitlichen Richtung verbessert.

Weiter können durch einen Photodetektor, bei dem der Aluminium-Mol-Bruchteil stufenweise geändert wird, ebenfalls folgende technische Vorteile erhalten werden:

(1) Löcher können durch den Aufbau, bei dem der Aluminium-Mol-Bruchteil der Mantelschicht, der Wellenleiterschicht oder dergleichen stufenweise geändert wird, schnell und positiv beseitigt werden. Als Ergebnis wird die Zeitverzögerung aufgrund der Löcher beseitigt und die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) weiter verbessert.

(2) Am Hetero-Übergang werden keine Löcher gespeichert, sodaß kein unerwünschtes elektrisches Feld erzeugt wird. Als Ergebnis werden elektrostatische Potentiale bei jeweiligen Abschnitten stabilisiert und die Licht-Strom-Charakteristik wird stabil gemacht.

Während die vorliegende Erfindung in Bezug auf das, was gegenwärtig als das bevorzugte Ausführungsbeispiel angesehen wird, beschrieben wurde, ist es verständlich, daß die Erfindung nicht auf die offenbarten Ausführungsbeispiele beschränkt ist. Die vorliegende Erfindung ist vorgesehen, um verschiedene Abwandlungen und gleichwertige Anordnungen, die innerhalb des Geistes und

des Schutzbereichs der anhängenden Patentansprüche eingeschlossen sind, abzudecken.

5 Eine lichtabsorbierende Schicht wird in einem Photodetektor, der darin geleitetes Licht empfängt und erfaßt, gebildet. Ansprechend auf das geleitete Licht werden Ladungsträger in der lichtabsorbierenden Schicht erzeugt. Unerwünschte Ladungsträger, die in anderen Bereichen als der lichtabsorbierenden Schicht erzeugt werden können, wenn Licht im Photodetektor geleitet wird,  
10 werden mittels einer Ladungsträger-Beseitigungsanordnung beseitigt, um die Zeitantwort-Charakteristik (Übergangsfunktion) und die Licht-Strom-Charakteristik des Photodetektors zu verbessern.

Deutschsprachige Übersetzung der Patentansprüche des  
Europäischen Patents Nr. 0 514 919 der  
Europäischen Patentanmeldung Nr. 92108667.4-2203

5

1. Photodetektor, mit:

a) einer Lichtleiteinrichtung (8) zum Leiten von Licht; und mit

b) einer Lichterfassungseinrichtung (6, 11-13) zum Empfangen und  
Erfassen des Lichts, das durch die Lichtleiteinrichtung (8) ge-  
leitet wird, wobei die Lichterfassungseinrichtung eine lichtab-  
sorbierende Schicht (6) zum Absorbieren des Lichts, um Ladungs-  
träger zu erzeugen, und eine Elektrodeneinrichtung (11-13) zum  
Erfassen von in der lichtabsorbierenden Schicht erzeugten La-  
dungsträgern umfaßt,

15 gekennzeichnet durch

c) eine zusätzliche Elektrodeneinrichtung (15; 28; 38; 43, 44;  
57, 59; 67, 69; 78, 79; 104-107; 179; 200) zum Erzeugen eines  
elektrischen Feldes in anderen Bereichen als der lichtabsorbie-  
renden Schicht (6), um in diesen Bereichen erzeugte Ladungsträ-  
ger zu beseitigen.

20

2. Photodetektor nach Patentanspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Lichtleiteinrichtung einen Lichtwellenleiter (8) umfaßt, der  
mit der Lichterfassungseinrichtung monolithisch integriert ist.

25

3. Photodetektor nach Patentanspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, daß

die zusätzliche Elektrodeneinrichtung an einer Seite des Licht-  
wellenleiters (8) angeordnet ist.

30

4. Photodetektor nach Patentanspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, daß

die zusätzliche Elektrodeneinrichtung auf einer verlängerten Li-  
nie des Lichtwellenleiters (8) in einer Lichtausbreitungsrich-  
tung angeordnet ist.

35

5. Photodetektor nach Patentanspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die zusätzliche Elektrodeneinrichtung eingerichtet ist, um in  
anderen Bereichen als der lichtabsorbierenden Schicht (6) er-  
zeugte Löcher zu beseitigen.

6. Photodetektor nach Patentanspruch 5,  
gekennzeichnet durch

ein p-Typ Substrat (1) und eine p-Typ Pufferschicht (2), die auf  
einer Deckfläche des Substrats (1) gebildet sind, wobei die  
Lichterfassungseinrichtung (6, 11-13) auf dem Substrat (1) und  
der Pufferschicht (2) gebildet ist, und wobei die zusätzliche  
Elektrodeneinrichtung eine auf einer Grundfläche des Substrats  
(1) gebildete ohmsche Elektrode (15) umfaßt.

7. Photodetektor nach Patentanspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die Lichterfassungseinrichtung eine p-Typ Schicht (25), die ne-  
ben der lichtabsorbierenden Schicht (26) gebildet ist, umfaßt  
und die zusätzliche Elektrodeneinrichtung eine auf der p-Typ  
Schicht (25) gebildete Loch-Beseitigungselektrode (28) umfaßt.

8. Photodetektor nach Patentanspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die zusätzliche Elektrodeneinrichtung eine Schicht (43) und eine  
auf der Schicht (43) gebildete Elektrode (44) umfaßt.

9. Photodetektor nach Patentanspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die Schicht (43) ein Halbleitermaterial umfaßt, wobei ein Leit-  
fähigkeitstyp des Halbleitermaterials von dem der lichtabsorbie-  
renden Schicht (6) verschieden ist.

10. Photodetektor nach Patentanspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Elektrode eine ohmsche Elektrode (44) umfaßt.



11. Photodetektor nach Patentanspruch 1,  
gekennzeichnet durch

ein n-Typ Substrat (51) und eine n-Typ Pufferschicht (52), die auf einer Deckfläche des Substrats (51) gebildet ist, wobei die  
5 Lichterfassungseinrichtung (56, 11-13) auf dem Substrat (51) und der Pufferschicht (52) gebildet ist, und wobei die zusätzliche Elektroden- einrichtung eine auf einer Grundfläche des Substrats (51) gebildete ohmsche Elektrode (59) umfaßt.

10 12. Photodetektor nach Patentanspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die Lichterfassungseinrichtung einen Feldeffekttransistor-Aufbau umfaßt.

15 13. Photodetektor nach Patentanspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die zusätzliche Elektroden- einrichtung eine leitfähige störstellen- diffundierte Schicht (104), die in der Nähe der lichtabsorbierenden Schicht gebildet ist, und eine auf der leitfähigen  
20 störstellen- diffundierten Schicht (104) gebildete Elektrode (107) umfaßt.

14. Photodetektor nach Patentanspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, daß.

25 die leitfähige störstellen- diffundierte Schicht (104) entweder eine p- oder eine n-Typ Leitfähigkeit besitzt, wobei eine weitere störstellen- diffundierte Schicht (105) von der jeweiligen anderen Leitfähigkeitsart in der Nähe der lichtabsorbierenden Schicht gebildet ist und wobei eine weitere Elektrode (106) auf  
30 der weiteren störstellen- diffundierten Schicht (105) gebildet ist.

15. Photodetektor nach Patentanspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, daß

35 die p-Typ störstellen- diffundierte Schicht thermisch diffundiertes Zink oder Zinkoxid umfaßt.

16. Photodetektor nach Patentanspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die n-Typ störstellen-diffundierte Schicht thermisch diffundier-  
tes Silizium umfaßt.

5

17. Photodetektor nach Patentanspruch 13  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die störstellen-diffundierte Schicht thermisch diffundierte  
Störstellen umfaßt.

10

18. Photodetektor nach Patentanspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die p-Typ störstellen-diffundierte Schicht ionen-injiziertes  
Zink, Magnesium oder Germanium enthält.

15

19. Photodetektor nach Patentanspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die n-Typ störstellen-diffundierte Schicht ionen-injiziertes Si-  
lizium oder Tellur enthält.

20

20. Photodetektor nach Patentanspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die störstellen-diffundierte Schicht ionen-injizierte Störstel-  
len enthält.

25

21. Photodetektor nach Patentanspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Elektrode (107) und die weitere Elektrode (106), die auf der  
störstellen-diffundierten Schicht (104) bzw. der weiteren stör-  
stellen-diffundierten Schicht (105) gebildet sind, eine ohmsche  
Elektrode umfassen.

30

22. Photodetektor nach Patentanspruch 10 oder 21,  
gekennzeichnet durch

35

eine Spannungsanlegeeinrichtung zum Anlegen einer Umkehrvorspan-  
nung ( $V_r$ ) an die ohmsche Elektrode (44), derart, daß in anderen

Bereichen als der lichtabsorbierenden Schicht (6) erzeugte Ladungsträger beseitigt werden.

23. Photodetektor nach Patentanspruch 17 oder 20,

5 **dadurch gekennzeichnet, daß**

die Lichtleiteinrichtung eine Lichtwellenleiterschicht (94) mit einer Überstruktur umfaßt, wobei die Wellenleiterschicht (94) als ein dreidimensionaler Wellenleiteraufbau durch eine Auflösung der Überstruktur aufgrund der Bildung der störstellen-  
10 diffundierten Schichten (104, 105) gebildet ist.

24. Photodetektor nach Patentanspruch 1,  
**gekennzeichnet durch**

zumindest zwei Schichten, die in der Nähe der lichtabsorbierenden Schicht (96) gebildet sind, wobei eine Energiebandlücke von  
15 Materialien der zumindest zwei Schichten kontinuierlich geändert wird.

25. Photodetektor nach Patentanspruch 24,

20 **dadurch gekennzeichnet, daß**

die Lichtleiteinrichtung eine Mantelschicht (193, 195) und eine Lichtwellenleiterschicht (194) umfaßt, wobei eine Energiebandlücke von Materialien der Mantelschicht (193, 195) und der Wellenleiterschicht (194) symmetrisch zu der Lichtwellenleiter-  
25 schicht (194) als einer Mitte kontinuierlich geändert wird.

26. Photodetektor nach Patentanspruch 24,

**dadurch gekennzeichnet, daß**

die zumindest zwei Schichten eine GaAs-Schicht (173) und eine  
30 AlGaAs-Schicht (174) umfassen, wobei eine Energiebandlücke um einen Hetero-Übergang der zumindest zwei Schichten durch Ändern eines Aluminium-Mol-Bruchteils um den Hetero-Übergang herum kontinuierlich geändert wird.

35 27. Lokales Netzwerksystem mit einer Bus-Struktur, mit

einer Vielzahl von Knoten (350), von denen jeder einen Empfängerabschnitt (302), der einen Photodetektor nach Patentanspruch

1 enthält, umfaßt, und mit einer Lichtübertragungsleitung (301) zum Verbinden der Knoten (350) miteinander.

28. Optisches Übertragungssystem mit einer Vielzahl von Knoten (350), von denen jeder einen Empfängerabschnitt (302), der einen Photodetektor nach Patentanspruch 1 enthält, umfaßt, und mit einer Lichtübertragungsleitung (301) zum Verbinden der Knoten (350) miteinander.

10 29. Verfahren zum Erfassen von Licht in einem Mehrschicht-Photodetektor, mit den Schritten:

a) Leiten von Licht in einer vorbestimmten Schicht; und

b) Empfangen des geleiteten Lichts in einer lichtabsorbierenden Schicht, um Ladungsträger zu erzeugen, und Erfassen der erzeugten Ladungsträger mittels einer Elektrodeneinrichtung, die ein elektrisches Feld erzeugt,

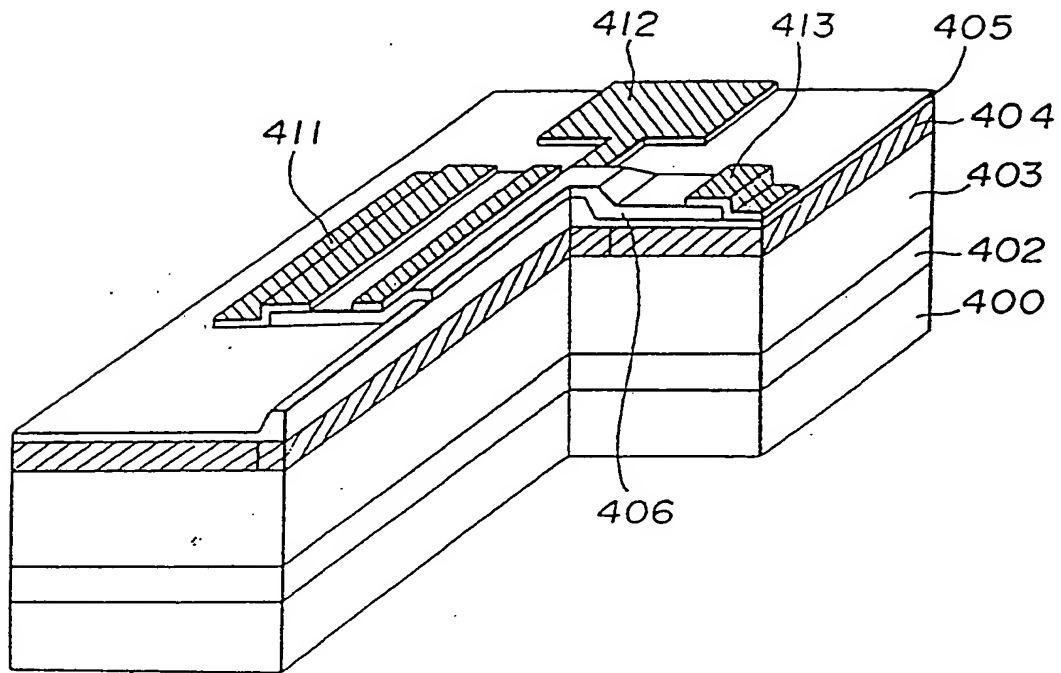
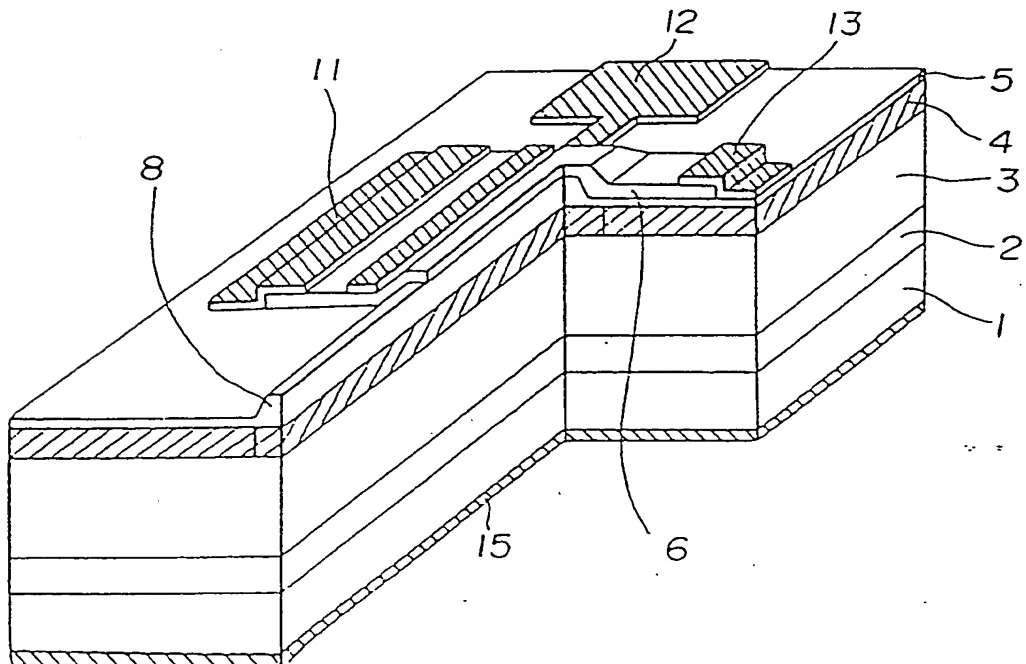
gekennzeichnet durch

den Schritt

c) Erzeugen eines zusätzlichen elektrischen Feldes in anderen Bereichen als der lichtabsorbierenden Schicht (6), um in diesen Bereichen erzeugte Ladungsträger zu beseitigen.

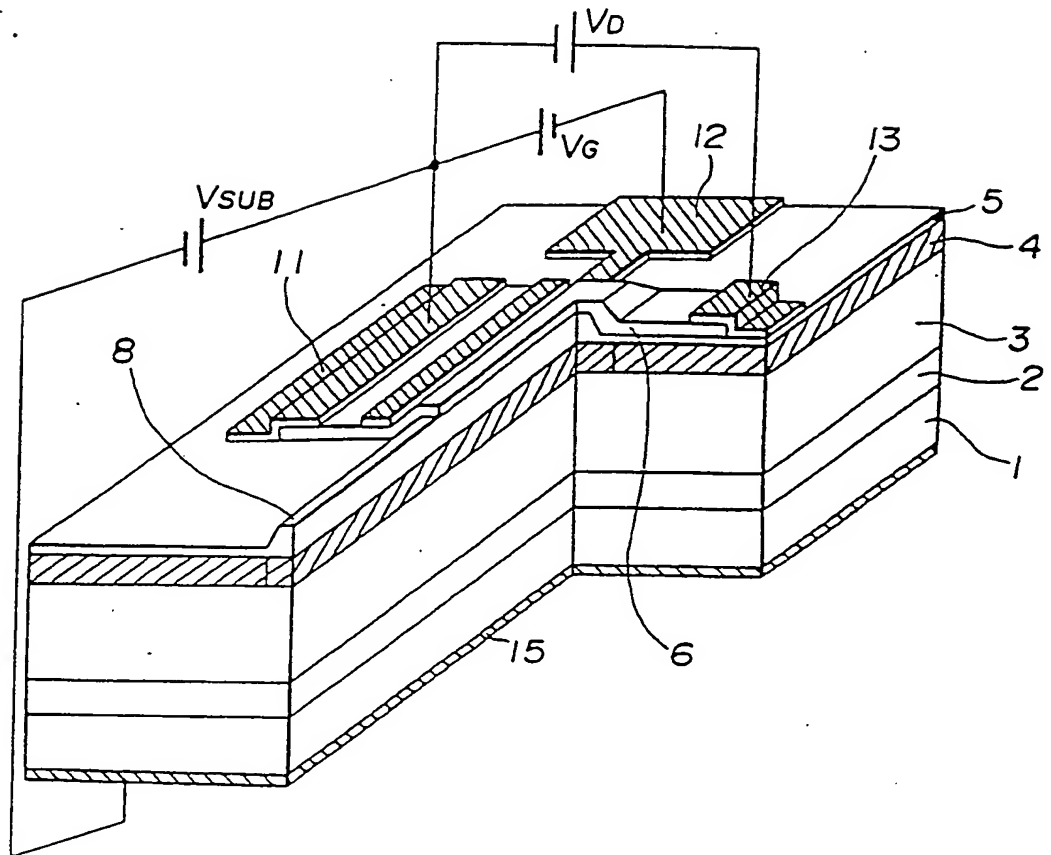
**FIG. 1**

(STAND DER TECHNIK)

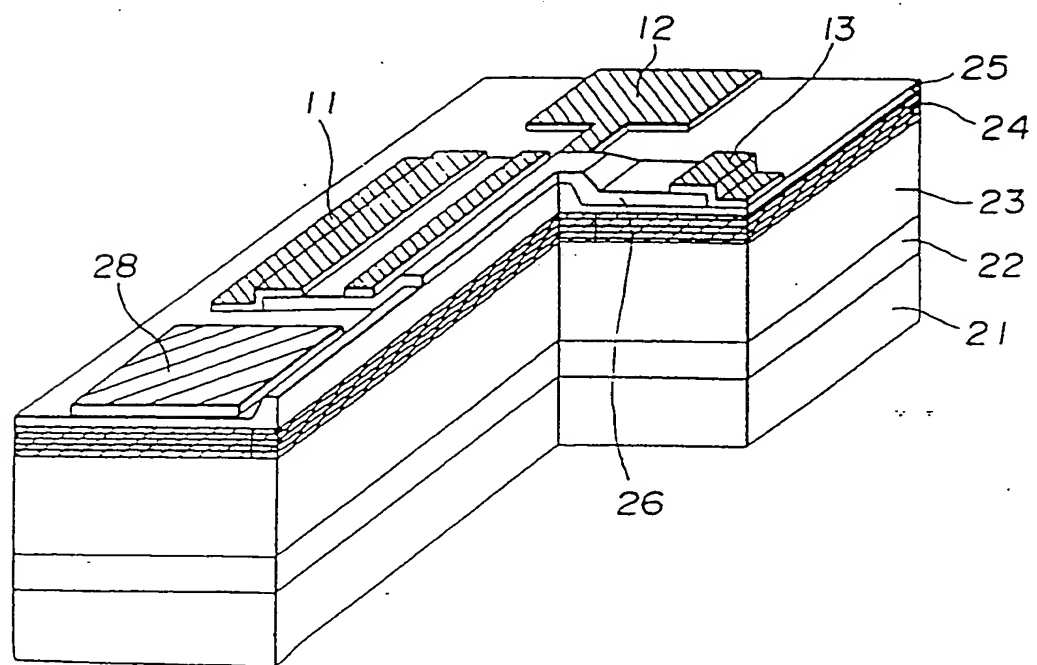
**FIG. 2**

2/λψ

**FIG. 3**

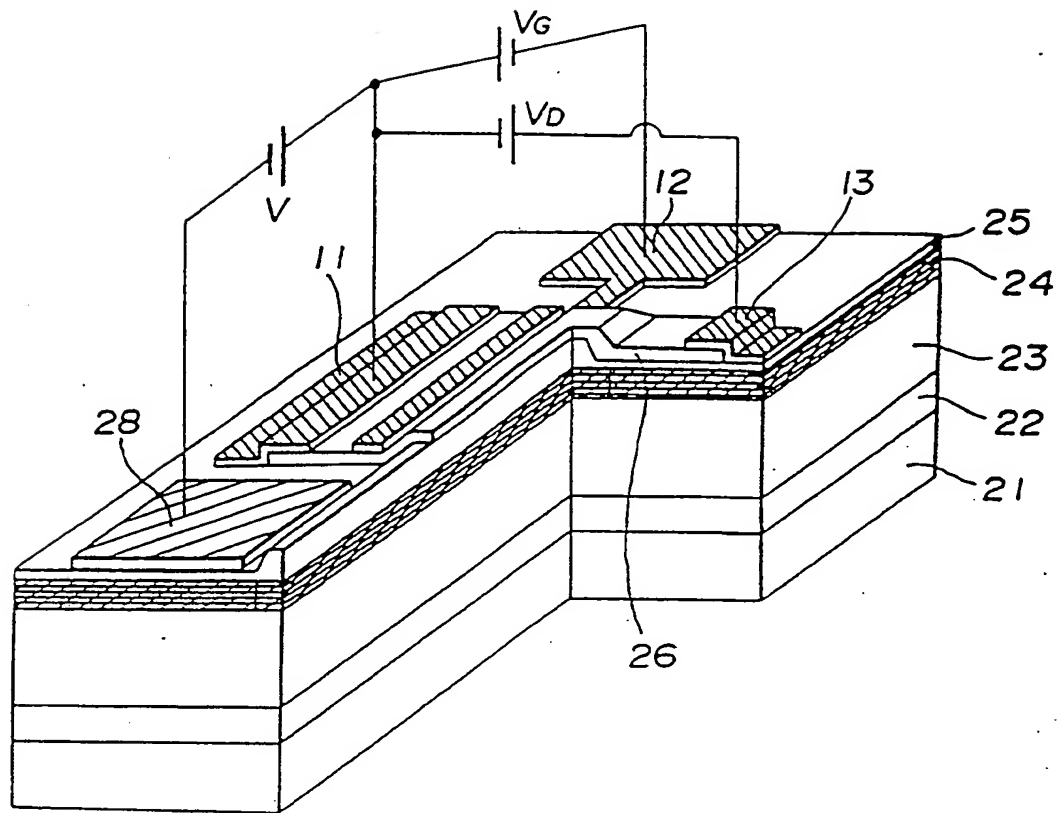


**FIG. 4**

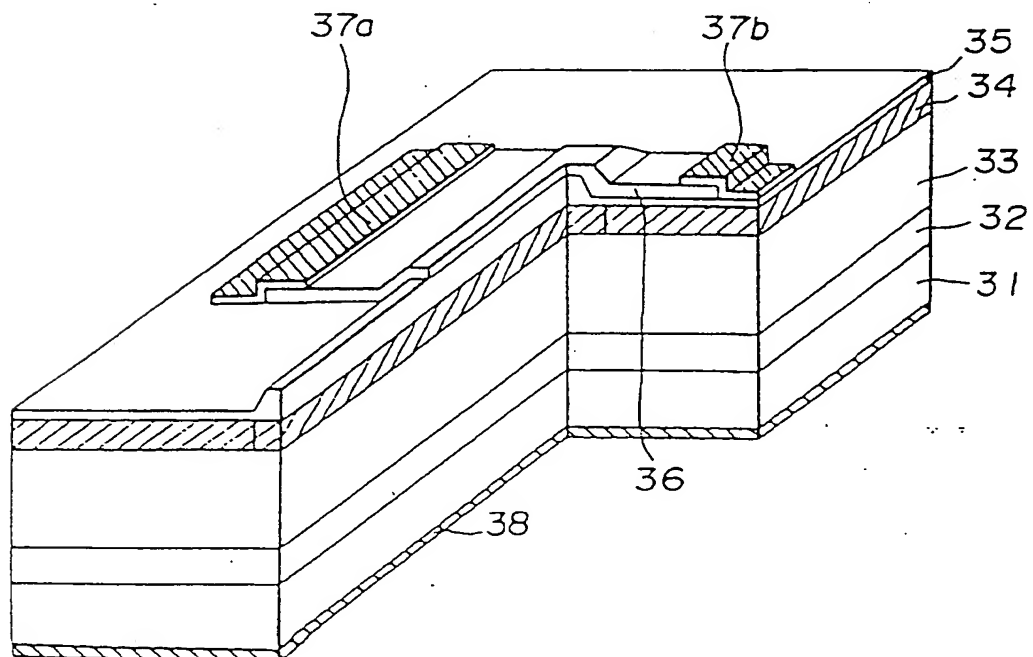


3/14

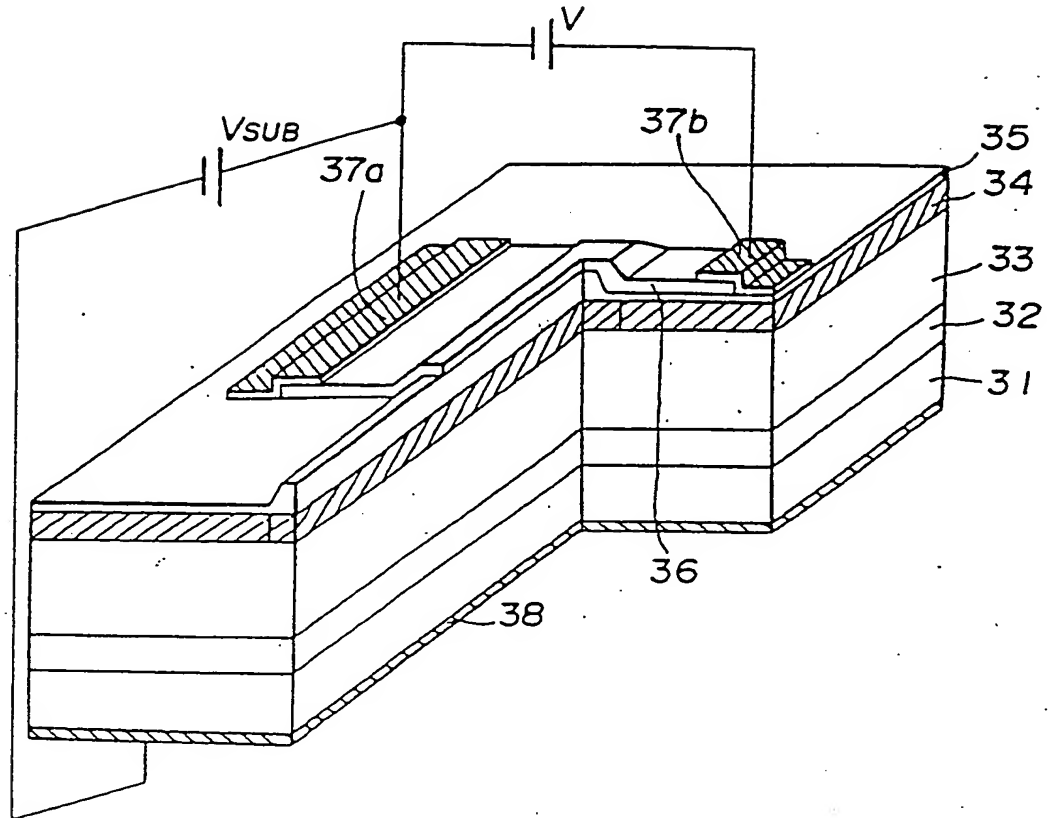
**FIG. 5**



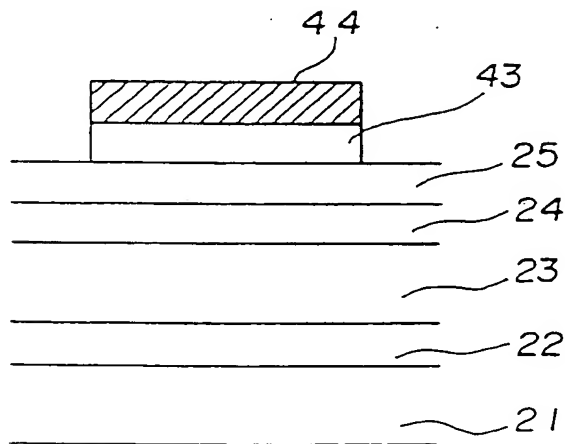
**FIG. 6**



**FIG. 7**



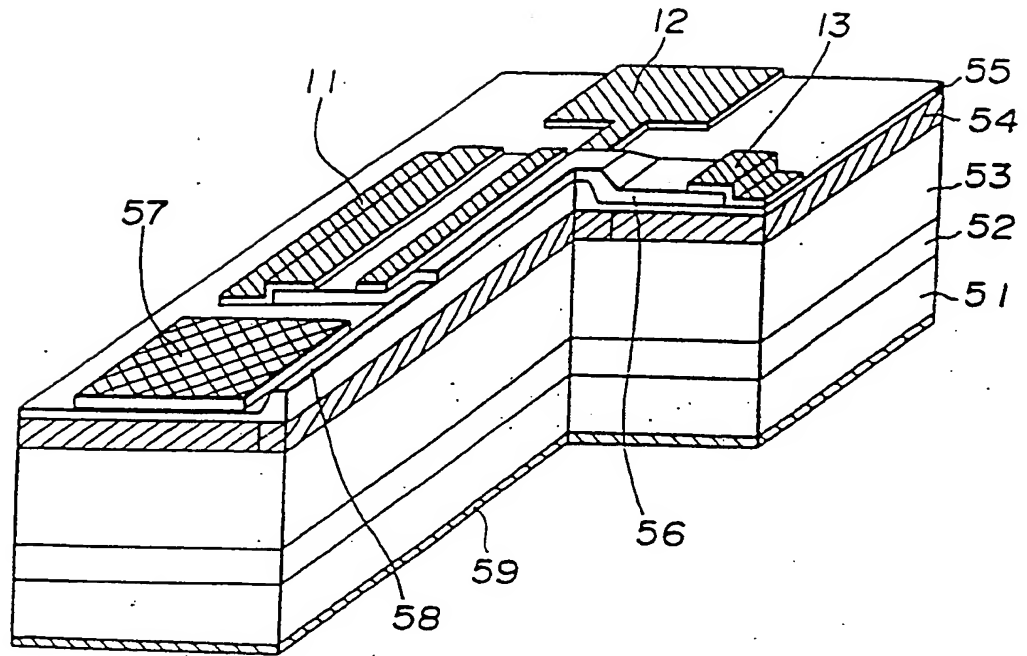
**FIG. 8**



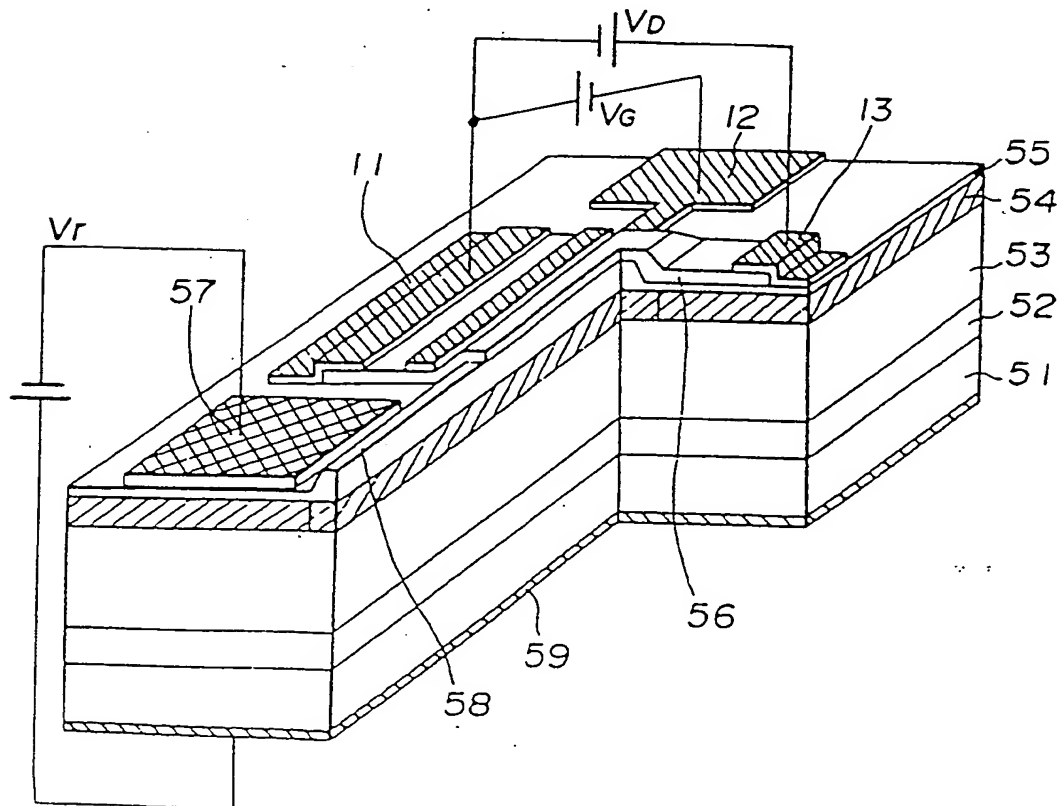


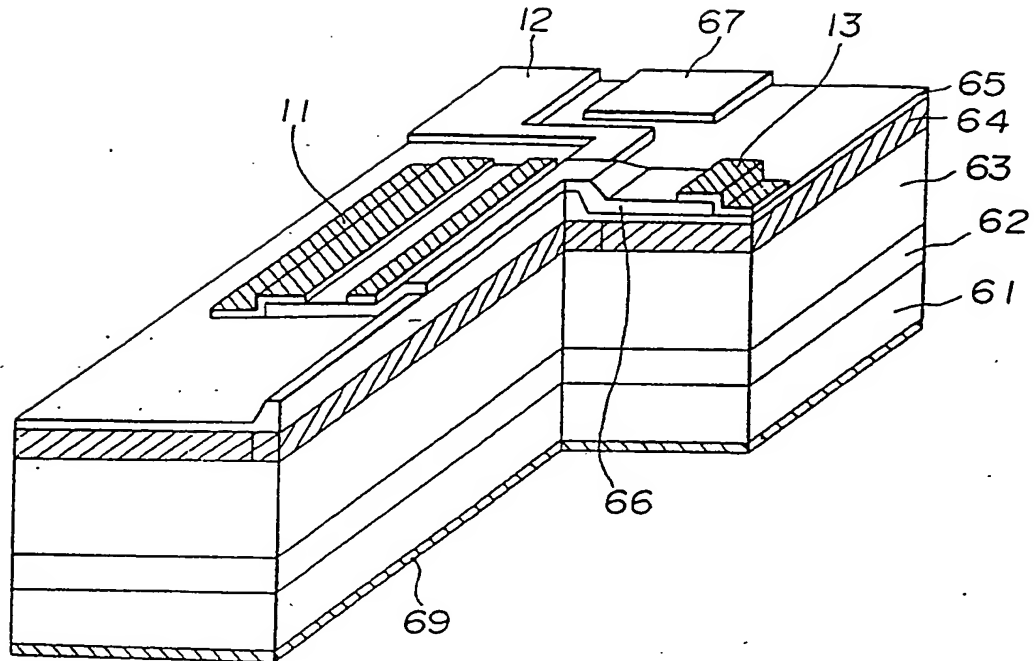
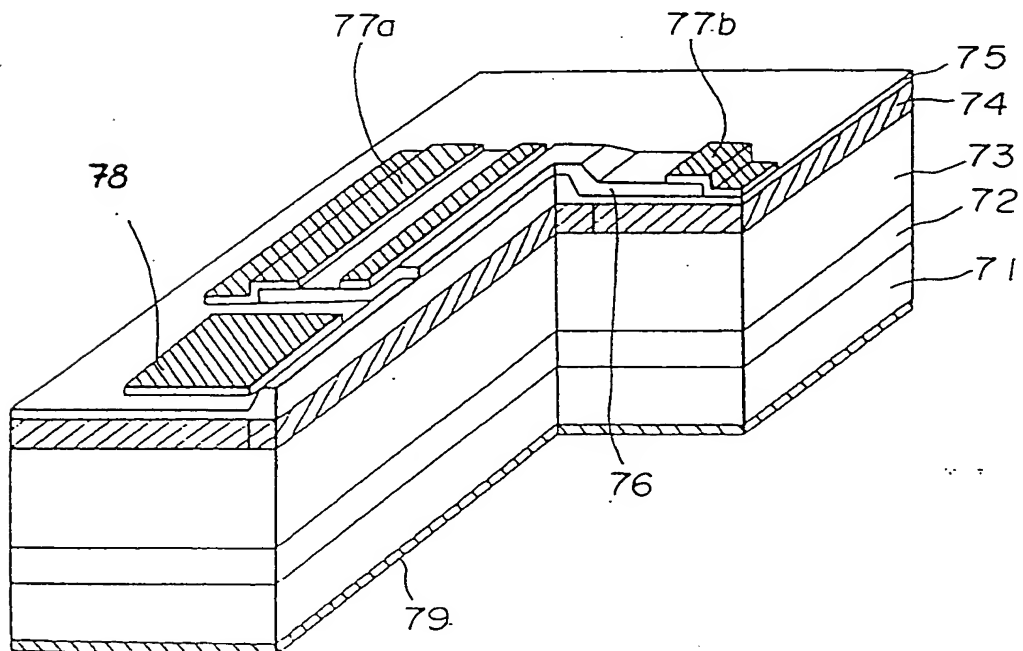
5/14

**FIG. 9**



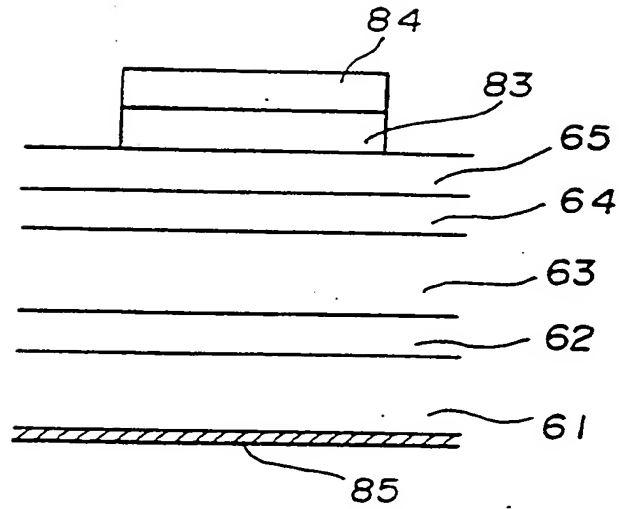
**FIG. 10**



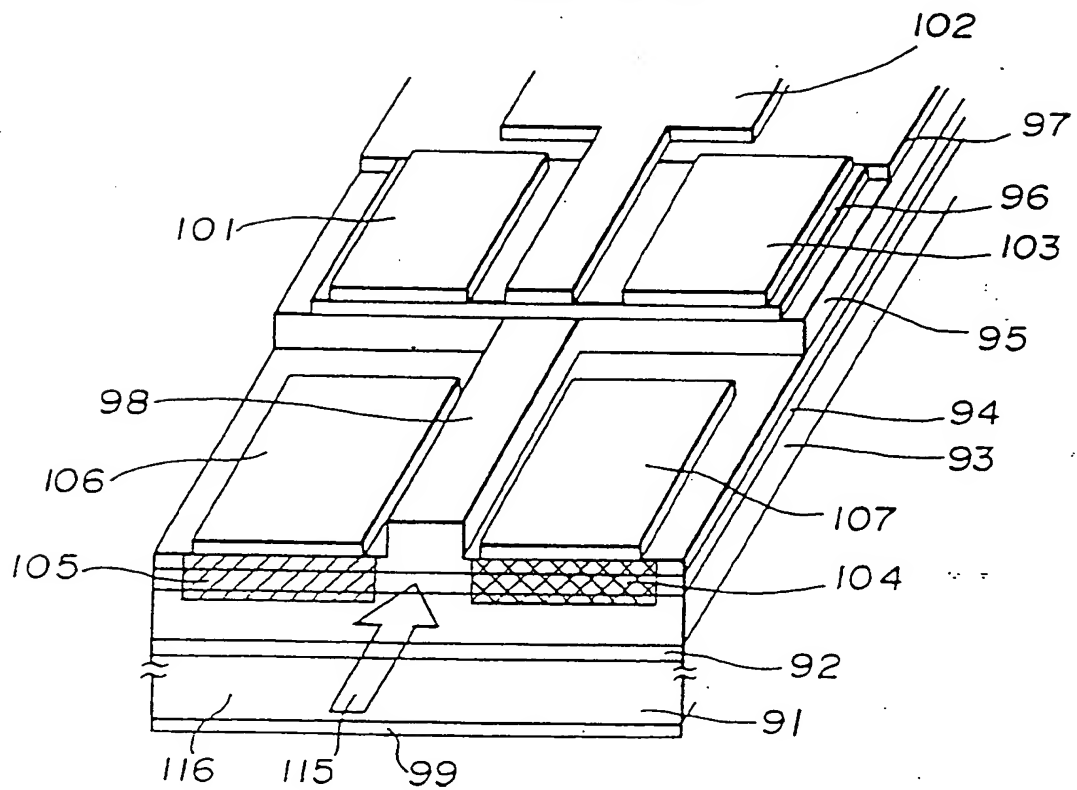
**FIG.11****FIG.12**

7/14

**FIG.13**

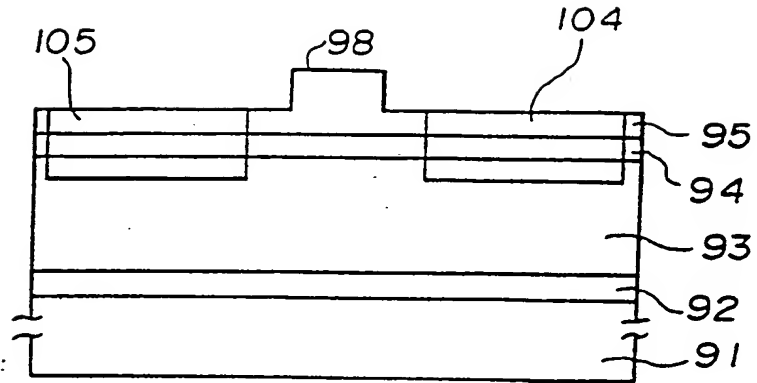


**FIG.14**

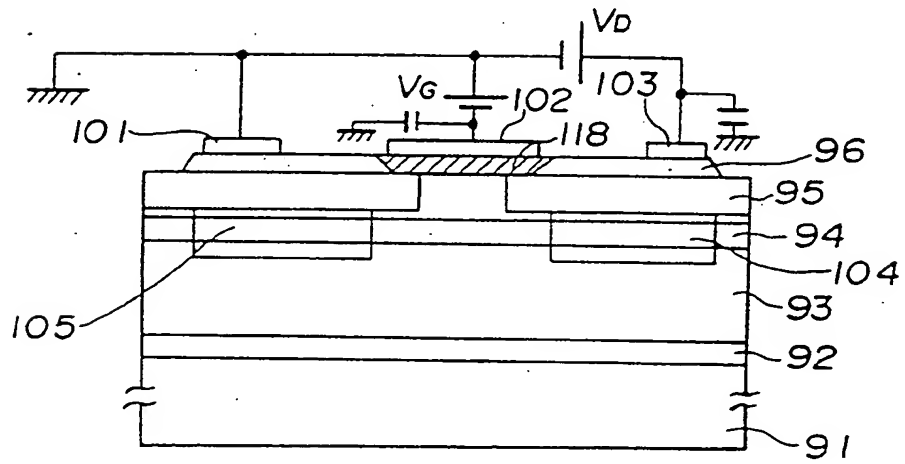


8/14

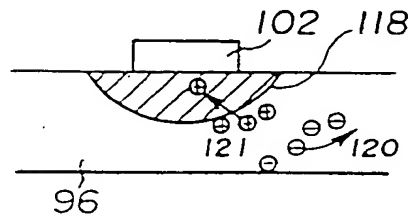
**FIG.15**



**FIG.16**

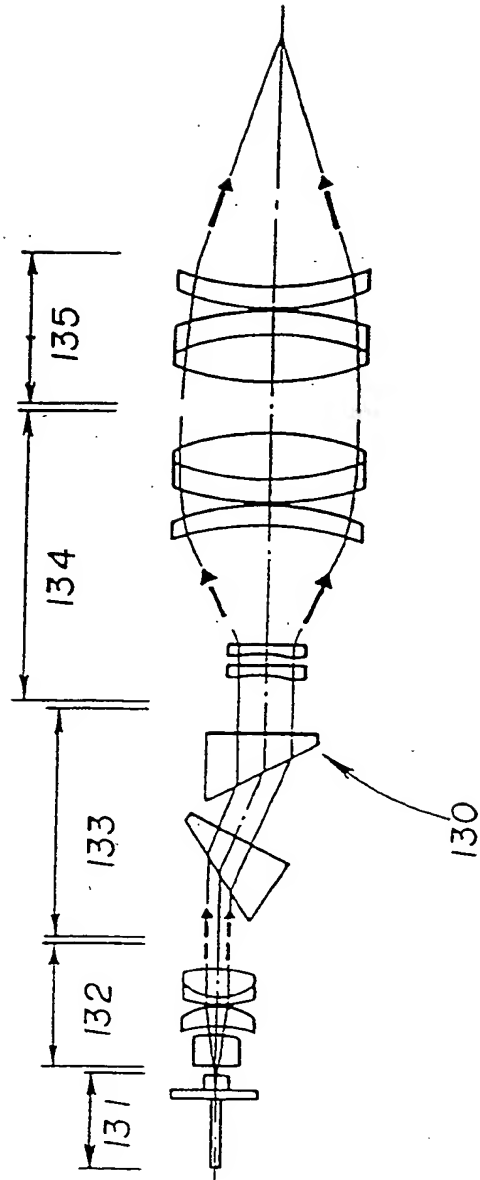


**FIG.17**



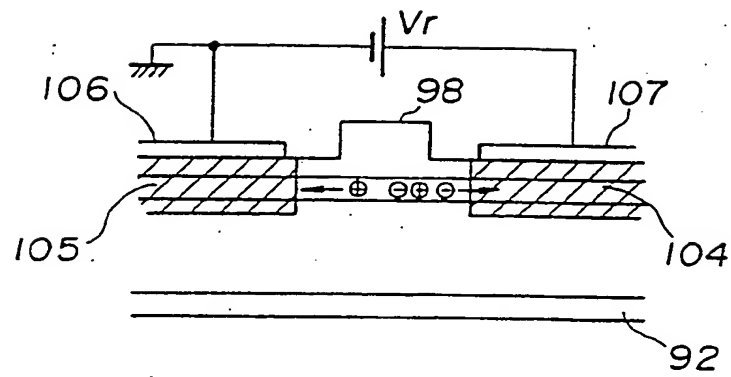
9/14

FIG.18

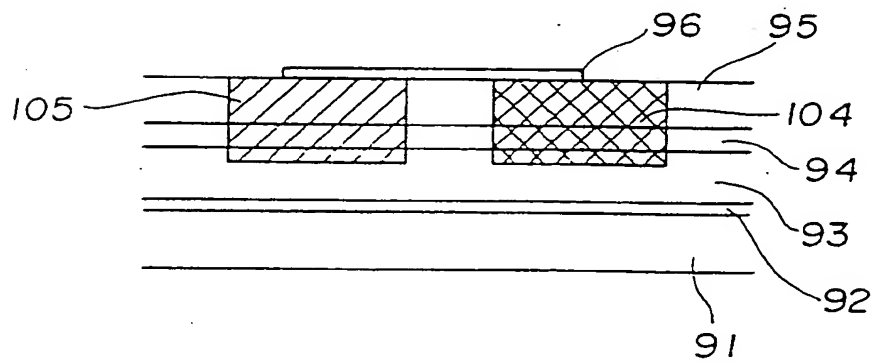


10/14

**FIG.19**

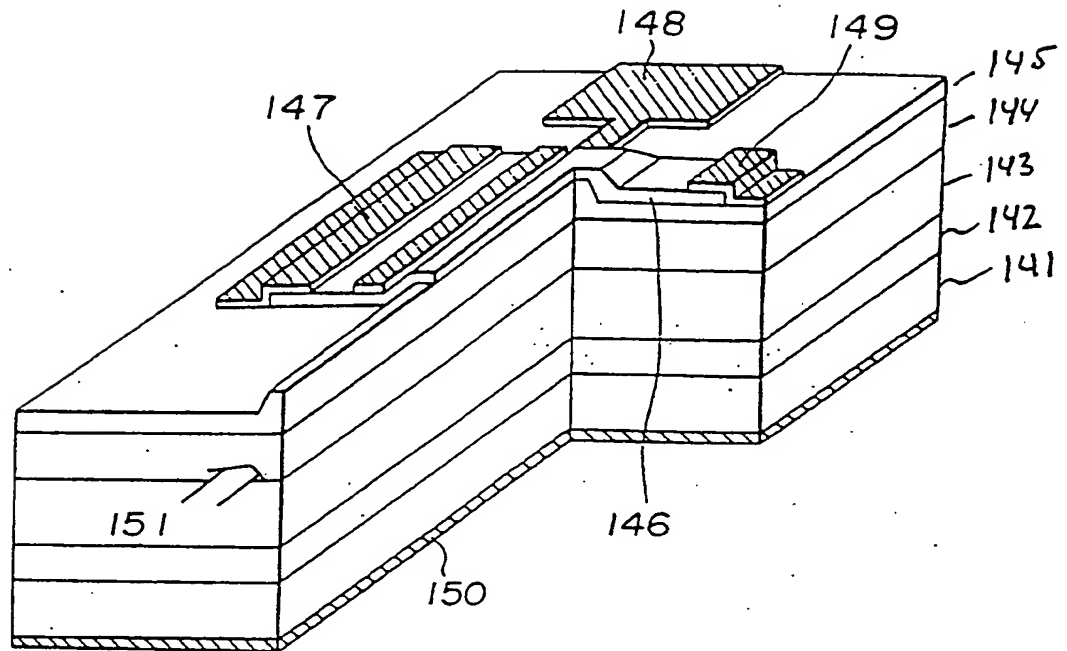


**FIG.20**

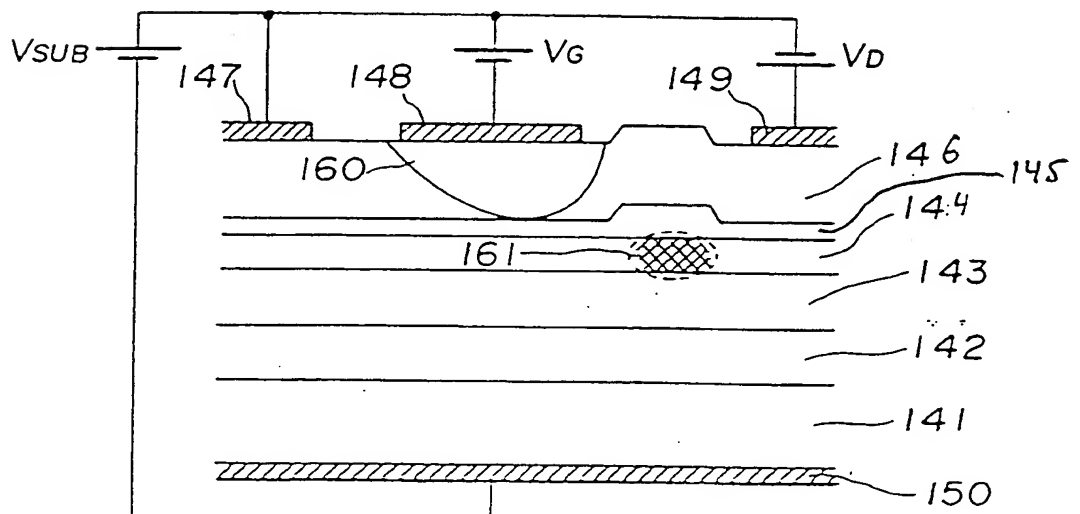


11/14

**FIG. 21**

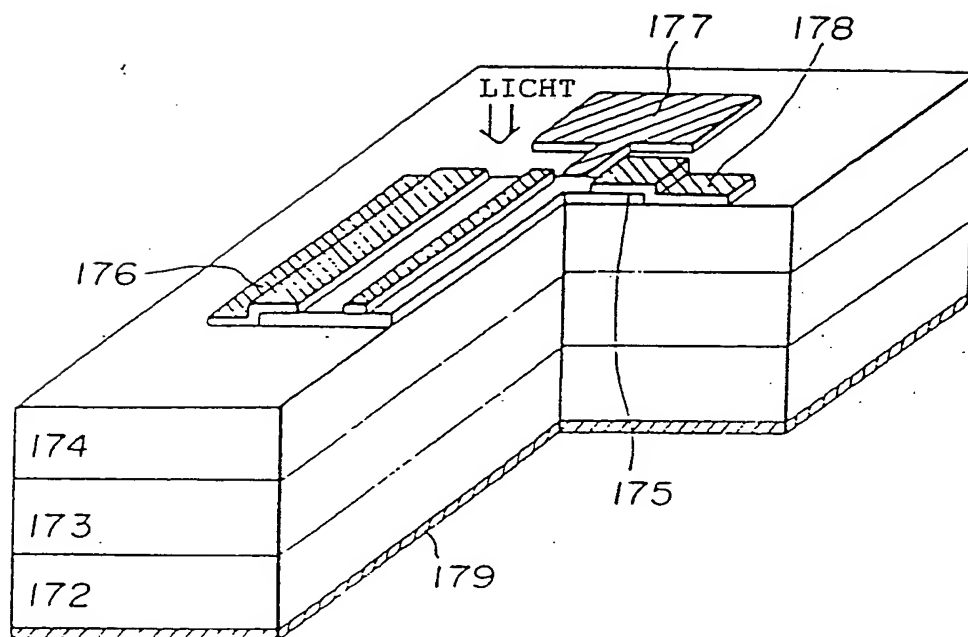


**FIG. 22**

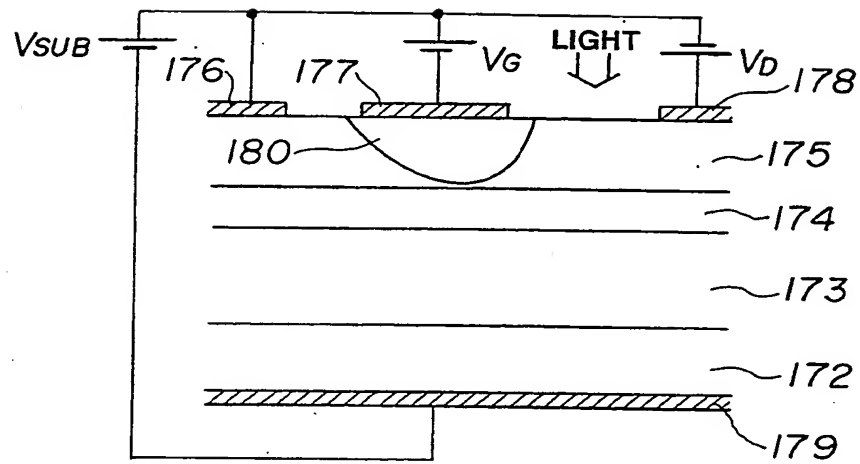
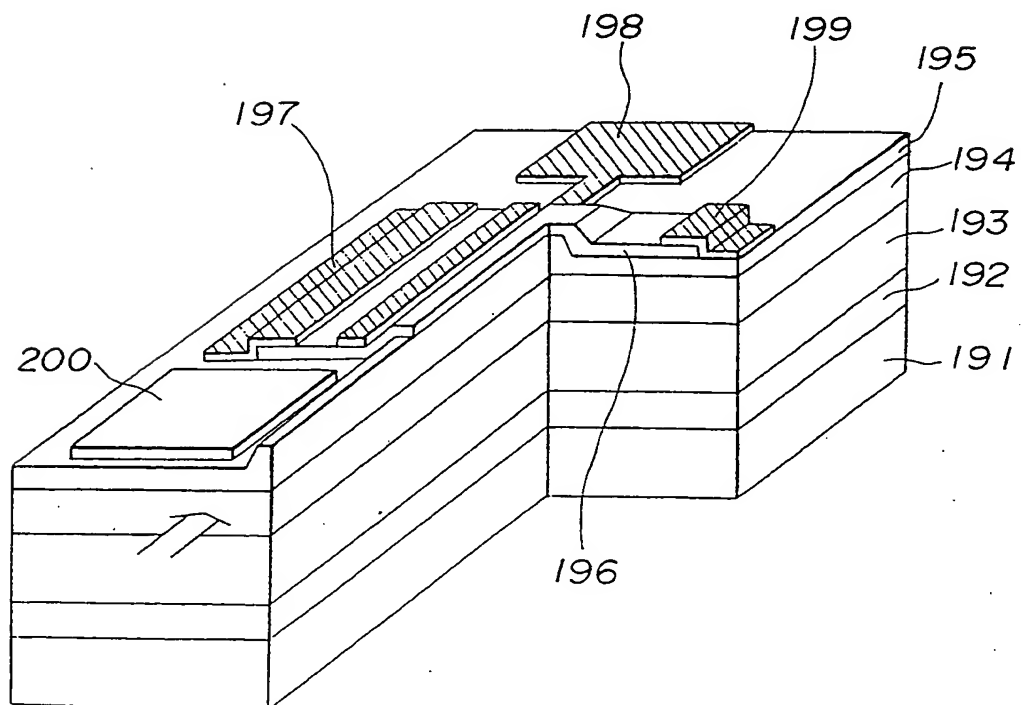


12/14

**FIG. 23**





**FIG. 24****FIG. 25**

**FIG. 26**

